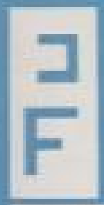
Milič Čapek

El impacto filosófico de la física contemporánea



ESTRUCTURA Y FUNCION

EDITORIAL TECNOS - MADRID

Milič Čapek

EL IMPACTO FILOSOFICO DE LA FISICA CONTEMPORANEA

EDITORIAL TECNOS

MADRID

Traducción por
EDUARDO GALLARDO RUIZ

1.ª edición, 1965
Reimp., 1973

O'Donnell, 27. Madrid-9
ISBN 84-309-0442-5
Depósito legal: M. 22500.—1973

Printed in Spain. Impreso en España por Gráficas Halar, S. L., Andrés de la Cuerda, 4. Madrid, 1973

Indice general

PARTE II

LA DESINTEGRACION DE LA ESTRUCTURA CLASICA Y EL SIGNIFICADO DE LOS NUEVOS CONCEPTOS

Prefacio

La finalidad de este libro se halla expuesta en la Introducción. Sus principales ideas han ido madurando despacio en mi mente desde mis años de graduado, y la redacción sistemática comenzó en el año académico 1954-1955, cuando estuve en New Haven como becario del Fondo para el Progreso de la Educación. En su mayor parte, se hallaba completa allá por el otoño de 1955. Más tarde se añadieron dos capítulos finales y un sumario.

Mis deudas intelectuales son numerosas; la mayoría de ellas, aunque no todas, se pueden encontrar en las referencias que aparecen en el texto, así como en las notas. Si hay escasez de referencias a los escritos más recientes en relación con los problemas discutidos en este libro, es porque aparecieron después de acabado el manuscrito y de ser sometido para su publicación. Expreso mi gratitud al Fondo para el Progreso de la Educación, cuya generosidad me proporcionó todo un año de tiempo libre para reunir el material y preparar el manuscrito. También recuerdo con agradecimiento las estimulantes discusiones que tuve por entonces con varios miembros del Departamento de Filosofía de la Universidad de Yale, así como las que tuve con mis colegas en el Carleton College. En particular, agradezco la amable ayuda de mis colegas al leer las pruebas: el profesor Eugen Mayers, que leyó todas las pruebas, y los profesores David Sipfle y James Doyle, cada uno de los cuales leyó parte de ellas. Aprecio la ayuda de miss Elaine Pimsler y Mrs. Robert Scott, que volvieron a mecanografiar el manuscrito durante mi ausencia en Europa.

MILIČ ČAPEK.

Carleton College,
11 de abril de 1961.

Introducción

El presente libro ha nacido del convencimiento de que no es posible comprender verdaderamente la física contemporánea y sus implicaciones filosóficas sin apreciar primero, de manera plena, en qué sentido y hasta qué punto difieren los conceptos físicos modernos de los conceptos de la física clásica. Los conceptos clásicos de espacio, tiempo, materia, movimiento, energía y causalidad se han transformado radicalmente de poco tiempo a esta parte; aunque las palabras utilizadas por los físicos contemporáneos son las mismas, sus connotaciones son totalmente distintas de las de sus equivalentes clásicos. Apenas hay similitud entre la «materia» de la física moderna y la substancia material tradicional del período clásico, e igual sucede también, en diferentes grados, con otros conceptos. El carácter revolucionario de los conceptos modernos no se puede apreciar por completo si no se tiene presente, de manera constante, el fondo de la física clásica, que tanto contrasta. Una de las finalidades de este libro es enfocar plenamente la conciencia de este contraste entre la estructura conceptual clásica y la moderna.

Al principio, semejante tarea puede parecer superflua. Casi todo el mundo afirma ahora que está consciente del contraste entre la física de Newton y la física del siglo XX. Pero la situación no es tan simple como superficialmente parece ser. La parte principal de la revolución de la física moderna tuvo lugar en las primeras tres décadas de este siglo. Fue entonces cuando cobraron existencia la teoría de la relatividad, la teoría de los *quanta* y, finalmente, la mecánica ondulatoria. Es cierto que fue verdaderamente estremecedor el efecto de estas teorías sobre la imaginación de los físicos, filósofos e incluso legos; era agudo y chocante el contraste entre las nuevas teorías y la atractiva claridad de los conceptos clásicos. Pero con el paso de los años se hizo más difusa la conciencia de este contraste. Disminuye gradualmente la inten-

sidad de todo asombro; la mente humana, por el puro efecto de la repetición y el hábito, se acostumbra poco a poco incluso a las ideas más extrañas y menos familiares.

Así, aun en este caso, una sensación de familiaridad sustituyó finalmente a la sensación original de extrañeza. En fecha tan temprana como la de 1929, sir Ernest Rutherford escribió con ocasión del quincuagésimo aniversario del doctorado de Max Planck: «Es difícil apreciar hoy, cuando la teoría cuántica se aplica con éxito en tantas esferas de la ciencia, lo extraño y casi fantástico que parecía este nuevo concepto de radiación a muchos científicos de hace veinticinco años» [1]. Si el desconcertante efecto de las nuevas teorías comenzó a amainar en fecha tan temprana como la de 1929, no es sorprendente que ahora haya desaparecido casi por completo. Desde entonces ha pasado toda una generación de físicos que, después de sus cursos universitarios elementales, se han visto expuestos casi exclusivamente a nuevas teorías, y que, si no han perdido todo contacto con la física clásica, es cierto que apenas están conscientes de su prestigio y atractivo de antaño. Este fenómeno es probablemente aún más conspicuo en los Estados Unidos, donde la conciencia histórica es generalmente más débil que en otras partes. Como Freeman J. Dyson escribió en 1954 al revisar el segundo volumen de la *History of the Theories of Aether and Electricity*, de E. T. Whittaker: «Para los que hemos madurado después de 1940 y hemos aceptado la mecánica cuántica como *fait accompli*, es extremadamente difícil imaginar el estado mental de los hombres que creaban la teoría antes de 1926» [2].

La conciencia del contraste entre dos teorías antagónicas suele desaparecer cuando la insuficiencia de una se establece fuera de toda duda, mientras que la otra, provisionalmente al menos, se verifica empíricamente; entonces se olvida rápidamente la teoría inadecuada y sólo la recuerdan los historiadores de la ciencia. Esto fue lo que ocurrió con la teoría de los epiciclos en la astronomía y con la teoría del flogisto en la química, para mencionar solamente dos ejemplos. Pero en la física contemporánea la situación está lejos de ser tan simple. La física clásica no se puede fácilmente olvidar, aun cuando no subsista ya su prestigio. No se puede olvidar no sólo porque todavía sigue siendo válida en

---

1 Rutherford, en *Naturwissenschaften*, vol. 17 (1929), p. 483.
2 F. J. Dyson, en *Scientific American*, vol. 120 (marzo 1954), p. 92.

el nivel macrofísico, o sea, para nuestra experiencia diaria; no sólo porque por esa razón se enseña en las escuelas superiores y en los cursos universitarios básicos, sino también porque sus principios están incorporados en la estructura presente del intelecto humano ordinario o en lo que se suele llamar «sentido común».

La geometría de Euclides y la mecánica de Newton se basan ambas en hábitos profundamente arraigados de la imaginación y el pensamiento cuya fuerza es mucho mayor de lo que generalmente nos hallamos dispuestos a reconocer.

A Kant le impresionaba tanto esta fuerza que la consideraba como manifestación de la estructura *a priori* inmutable de la mente humana; Herbert Spencer, a pesar de su epistemología radicalmente distinta, coincidía finalmente con Kant, al menos en cuanto a la inmutabilidad de la estructura intelectual de Newton y Euclides. Esta estructura intelectual es, según Spencer, el resultado final y definitivo del largo proceso de ajuste; en este proceso, el mundo externo creó, por decirlo así, su réplica exacta en la mente humana en forma de la imagen de la naturaleza que contemplaban Newton y Euclides. No era de esperar ningún cambio de esta imagen, según Spencer y los positivistas y naturalistas del siglo pasado. En este respecto, compartían la creencia general de su tiempo en el carácter irrevocablemente definitivo de la ciencia clásica. Esta creencia se veía justificada no sólo por lo que entonces parecía evidencia abrumadora en favor de la idea clásica de la naturaleza, sino también por el argumento evolucionista que hemos aludido anteriormente: la ciencia física clásica era considerada como ajuste *final* y *completo* de las facultades cognoscitivas humanas al orden objetivo de las cosas. Así, la idea de *la ausencia de evolución* en Kant conducía a la misma conclusión que la idea de *evolución ya completa* en el empirismo evolucionista de Spencer.

Los ejemplos de Kant y Spencer son bastante típicos; dan a conocer cómo dos destacados filósofos del período clásico, a pesar de representar trayectorias rivales en epistemología —racionalismo y empirismo—, coincidían, no obstante, en su afirmación de que ninguna experiencia futura se opondrá seriamente a los modos de pensamiento clásicos incorporados en la geometría de Euclides y la mecánica de Newton. El cuadro clásico del mundo físico era considerado como definitivo en sus facetas esenciales; se creía que el futuro traería una mejor comprensión de algunos de sus detalles, pero que nunca modificaría su contorno princi-

pal. «El mundo carece ya de misterios», exclamó Marcellin Berthelot en 1885, y Whitehead recordó la misma creencia de sus jóvenes días: «Suponíamos que era conocido casi todo lo importante de la física. Sí, había unos cuantos puntos oscuros, extrañas anomalías relacionadas con la radiación que los físicos esperaban esclarecer allá por 1900» [3]. Se podrían multiplicar indefinidamente los ejemplos de tal actitud. Es cierto que los positivistas y los neo-kantianos fueron epistemológicamente más cuidadosos, porque, en contraste con los propios científicos y los pensadores de orientación materialista, insistieron en el carácter fenoménico de la idea universal de la física; pero en cuanto a la propia idea universal, apenas había desacuerdo entre un filósofo sofisticado y un científico ordinario epistemológicamente inocente; la física continuaba siendo euclidiana y newtoniana para ambos. Es ciertamente instructivo ver al filósofo-físico Ernst Mach resistiéndose, al final de su vida, a la naciente teoría de la relatividad, la propia teoría para la que él mismo preparó el camino mediante su atrevida crítica de los conceptos newtonianos en fecha tan remota como la de 1883 [4].

Hoy nos hallamos menos inclinados a considerar la geometría de Euclides y la mecánica de Newton como necesidades inmutables del pensamiento o fieles réplicas de la realidad objetiva. Hoy existe una creciente tendencia a comprender que los modos de pensamiento clásico son aplicables sólo a lo que Reichenbach llamó «zona de las dimensiones medias», situada entre el mundo de las galaxias y el microcosmos, mientras que fallan totalmente fuera de sus límites. Si hubo un proceso de ajuste evolucionista en el sentido indicado por Spencer, tuvo lugar en escala limitada, porque está claro que nuestra forma de entender a la manera de Newton y Euclides se ajusta sólo a la zona de las dimensiones medias, o sea, a la única forma que originalmente era de importancia práctica. Sin embargo, aun ahora, cuando explícitamente rechazamos la autoridad de Euclides y Newton, nuestro intelecto sigue siendo más conservador que lo que estamos dispuestos a reconocer. Esto ocurre especialmente con las áreas que se hallan fuera de la física y a las que el eco de la revolución contempo-

---

[3] M. Berthelot, *Les origenes de l'alchimie* (París, 1885), p. 151; *Dialogues of Alfred North Whitehead as Recorded by Lucien Price* (New American Library, 1960), p. 12.

[4] E. Mach, *Science of Mechanics*, prefacio de la novena edición (1933), por Ludwig Mach, p. xxvii.

ránea de la física llega débil e indirectamente: en la biología, en la psicología y en las ciencias sociales la forma clásica del determinismo, modelada consciente o inconscientemente al estilo de Laplace, sigue estando prácticamente intacta. Pero aun dentro de la física, a pesar de nuestras declaraciones en sentido contrario, persisten los hábitos de pensamiento clásicos, y el hecho de que se les relegue en la subconsciencia rechazándolos conscientemente hace que su influencia resulte menos fácil de detectar y mucho más insidiosa. Veremos numerosos ejemplos en que los físicos o, aún más a menudo, los intérpretes filosóficos de la física moderna no llegaron a sacar todas las consecuencias de algún nuevo descubrimiento revolucionario, principalmente porque su pensamiento retenía la influencia de algún hábito clásico oculto. A menudo sucede que dentro de una misma mente la verdadera comprensión del lado metafísico de la teoría coexiste con graves interpretaciones erróneas de su significado físico, y en especial de su significado filosófico. Esto es psicológicamente comprensible; los hábitos mentales que constituyen lo que se puede llamar nuestro «subconsciente a lo Newton y Euclides», y cuyas raíces se hallan profundamente en la herencia filogenética del hombre, son demasiado obstinados para ser modificados por un simple dominio de formalismo matemático que no hace más que suprimirlos sin eliminarlos. En mi opinión, esta asociación incongrua, este conflicto del fondo imaginativo clásico subconsciente con el formalismo abstracto, es la fuente principal de las paradojas y confusiones que aparecen en varias interpretaciones, o más bien interpretaciones erróneas, de la física contemporánea.

La tarea de un epistemólogo en la física contemporánea es, por tanto, un poco semejante a la del psicoanalista: detectar los vestigios de pensamiento clásico bajo las negaciones verbales y repulsas conscientes. Unicamente se puede conseguir esto si enfocamos lo más claramente posible los conceptos clásicos. Esta es la tarea de la parte I, donde se analizan los conceptos clásicos básicos y se buscan sus conexiones, tanto lógicas como históricas, con el clima filosófico general del mismo período. Nada fortalece nuestro convencimiento acerca de la íntima relación, tan a menudo ignorada o subestimada, de los problemas de la ciencia con las cuestiones ontológicas generales, como el espectáculo de los contactos continuos y acciones recíprocas entre la física y la filosofía durante ese período.

En la parte II, sin olvidar el significado de los conceptos clásicos y conscientes de la influencia que conservan sobre nuestro pensamiento, nos hallaremos en mejor posición para no introducirlos de contrabando inconscientemente en la interpretación de los descubrimientos modernos. Lo que finalmente surgirá no será, por cierto, un «cuadro» o «modelo» en el viejo sentido clásico y pictórico, pero esto no quiere decir que la idea resultante haya de estar necesariamente divorciada de todos los aspectos de nuestra experiencia inmediata, toda vez que el término «experiencia» se entiende con mayor amplitud que en su habitualmente estrecho sentido sensualista o, más específicamente, en su sentido visual y táctil. Pues, en contra del difundido prejuicio, «concreto» y «pictórico» no son sinónimos. A menos que nos transformemos en pitagóricos embotados, es difícil adherirnos a un panmatematismo, según el cual la naturaleza está *constituida* por relaciones matemáticas. Sin embargo, esta afirmación la hacen, al menos implícitamente, todos los que insisten en que la naturaleza está desprovista de *toda* cualidad y que cualquier búsqueda de una interpretación concreta de la física moderna es fútil o incluso carente de sentido. En la parte II insinuaremos frecuentemente esta interpretación concreta, y, aunque su detallada elaboración está fuera del alcance de este libro, se hallará su bosquejo en el capítulo final.

Así, el énfasis sobre el contraste entre la física clásica y la contemporánea, que se infiltra en la parte II, se ve contrarrestado finalmente por el énfasis igualmente fuerte sobre la identidad básica de un problema que el físico afronta hoy tanto como en los días de Newton y Laplace: ¿Cuál es la naturaleza de la realidad física y hasta qué punto se puede entender? Todos los problemas específicos de la física son aspectos meramente concretos y parciales de la misma cuestión básica; en verdad, si desconsideramos su cándida fraseología, no era esencialmente distinta la pregunta «¿De qué está hecho el mundo?» a que trataban de responder los presocráticos. Cuando los atomistas griegos, en desafío de su epistemología sensualista, postularon la existencia de los átomos invisibles; cuando Aristóteles construyó su modelo de universo esférico y geocéntrico; cuando la imaginación profética de Giordano Bruno se desvió «del mundo cerrado hacia el universo infinito», a todos les inspiraba el mismo sentimiento intenso de la objetividad —del «filo de la objetividad», como se

ha dicho recientemente [5]—, de la realidad física cuya estructura existe independientemente de nuestras preferencias e idiosincrasias y que nuestros modelos conceptuales tratan de representar con diferentes grados de propensión e integridad. Fue el mismo motivo el que en nuestro siglo condujo a Einstein y Whitehead, a pesar de sus profundas diferencias filosóficas, a una insatisfacción idéntica con la nota desorientadora del idealismo y positivismo epistemológicos que se deslizaba en las discusiones tanto del principio del indeterminismo como del experimento de Michelson [6]. El mismo motivo inspira la esperanza expresada en este libro de que la filosofía de la física avanzará más allá de su presente etapa fenomenalista y su presente concentración en la metodología hacia una búsqueda de nuevos modos de entendimiento, hacia una visión más amplia de la realidad, entendiendo a la vez que la palabra «visión» en este caso no retendrá, por cierto, su sentido pictórico original.

---

[5] C. C. GILLISPIE, *The Edge of Objetivity, an Essay in the History of Ideas* (Princeton University Press, 1960).

[6] Véase p. 309 de este libro y referencias 15 y 16 en las pp. 307 y 309.

PARTE PRIMERA

EL CUADRO CLASICO DEL MUNDO FISICO

CAPITULO PRIMERO

El carácter general de la física clásica

Cuando hablamos del *cuadro* clásico de la realidad física indicamos por la propia elección de la palabra su faceta más significativa: su carácter *pictórico*. Este carácter sólo se hizo conspicuo de poco tiempo a esta parte. Antes de 1900 parecía tan natural y evidente, que casi nadie lo notaba; lo que parece evidente es rara vez conspicuo y rara vez atrae la atención. Nadie hablaba de la geometría *euclidiana* con anterioridad a Lobachevski y a Riemann, durante los siglos en que eran enteramente sinónimos los términos «geometría» y «geometría euclidiana». Pero la emergencia de nuevos conceptos de la materia proporcionó el contraste necesario de un telón de fondo frente al cual el cuadro clásico aparecía bajo una luz nueva y desconocida.

Las palabras «cuadro» y «conceptos» indican claramente una diferencia entre la teoría clásica y la moderna: en las teorías clásicas las facetas sensoriales —especialmente la visual y la táctil— desempeñaban un papel decisivo; las teorías modernas, por virtud de su naturaleza abstrusa, se resisten a todos los intentos de representación visual o pictórica. La cualidad óptica y la táctil, que parecían a los físicos clásicos los atributos inherentes de la materia, apenas son, a luz de los descubrimientos modernos, algo más que aspectos superficiales de la realidad cuya naturaleza intrínseca se halla muy probablemente fuera del alcance de nuestras facultades imaginativas. A las teorías modernas les resulta imposible aplicar el precepto que recomendó John Tyndall en su alocución de Liverpool a los físicos de la era victoriana como criterio fidedigno de las teorías científicas satisfactorias: «Pregunta a tu imaginación si lo quiere aceptar» [1], o sea, pregúntate a ti mismo si puedes dibujar un cuadro mental del fenómeno en cuestión; recházalo si no se puede construir un diagrama vi-

[1] JOHN TYNDALL, "Scientific Use of Imagination", en *Fragments of Science for Unscientific People*, Nueva York, D. Appleton Co., 1872, especialmente p. 131.

sual, un modelo mecánico. Esta demanda apenas varió del siglo XVII al siglo XIX; la recomendación de Tyndall es básicamente idéntica a la de Descartes y Huygens. El ideal cartesiano de explicación mediante figuras y movimientos (*par figures et mouvements*) continuó siendo el motivo inspirador de Faraday, Maxwell, Hertz y Kelvin, e incluso, al principio de este siglo, de Lorentz y J. J. Thomson [2]. Desde el punto de vista epistemológico, éste es probablemente el rasgo más significativo y revelador de las teorías clásicas.

A pesar de su carácter visual y, más generalmente, sensorial, la idea clásica no era ciertamente una simple duplicación de la cándida percepción sensitiva. Por el contrario, todo el desarrollo de la física clásica conducía al paso progresivo por un tamiz de los datos sensoriales originales. Las denominadas cualidades secundarias, como el color, el sonido, el sabor y el olor, eran consideradas como reacciones privadas de la mente perceptora. Únicamente la sensación de contacto y la de resistencia —considerándose esta última como una mera intensificación de la anterior— retenían su privilegiado estado epistemológico al proporcionarnos una directa visión interna de la naturaleza íntima de la materia. Se creía que el equivalente objetivo de la sensación de resistencia era la *impenetrabilidad* o *solidez*, y ésta constituía la propia esencia de la materia. Todas las otras propiedades físicas de la materia —la blandura, la aspereza, la suavidad, la elasticidad, la flexibilidad, la ductilidad, la humedad, la fluidez, etcétera— se atribuían no a la propia materia, sino a la esfera subjetiva de la percepción humana. Según esta idea, la fluidez, por ejemplo, es una mera adición psíquica a la materia; la propia realidad física, o al menos sus elementos constitutivos, se hallan completamente desprovistos de fluidez. De manera análoga, existe una sensación de calor, pero no existe ninguna objetiva cualidad oculta de calor residente en la naturaleza de la realidad.

Así, únicamente, una pequeña subdivisión de las sensaciones táctiles —las sensaciones del contacto y la resistencia— poseían el privilegio especial de descubrir la verdadera naturaleza de la realidad física. Mientras que las propiedades mecánicas de la materia se hallaban así construidas de nuestras sensaciones táctiles,

---

[2] Véase el capítulo VI de este volumen, "La idea cinético-corpuscular de la Naturaleza".

sus atributos geométricos y cinemáticos se concebían en términos visuales. *Se imaginaba* que las partículas de la materia poseían cierto volumen, forma y posición; *se imaginaba* que sus posiciones variaban en el tiempo, o, utilizando un lenguaje más ordinario, *se imaginaba* que las partículas se movían a través del espacio.

Esto es lo que se puede denominar *idea cinético-corpuscular de la materia.* Su primera formulación, que es sorprendentemente exacta, apareció en el antiguo atomismo griego. Sus premisas clásicas apenas han cambiado a través de los siglos. Aunque el atomismo sufrió un eclipse temporal (mas de ningún modo completo) en la Edad Media, se reafirmó con renovado vigor en el siglo de Gassendi y Newton, y desde entonces ha ejercido una persistente y fascinante influencia en la imaginación de los físicos, al menos hasta finales del pasado siglo. Hoy, por razones expuestas en la parte II, se ha debilitado su atractivo, pero no ha sido totalmente destruido.

Lo persistente de esta influencia demuestra que fue debida no a un simple accidente histórico, sino más bien a una tendencia inherente del intelecto humano, tendencia que analizaremos después más por extenso. Basta decir aquí que la idea clásica de la materia, aunque es en sí resultado de una profunda modificación de la percepción sensitiva inmediata, no se oponía seriamente a nuestras facultades imaginativas. Como la componían los elementos de dos sentidos básicos, la vista y el tacto, no rebasaba los límites de nuestra imaginación sensorial. La subordinación de todos los otros sentidos a la vista y al tacto explica probablemente por qué la eliminación de las cualidades secundarias apenas requería un gran esfuerzo mental incluso en los propios albores del pensamiento occidental. Por el contrario, esta eliminación tuvo como resultado una clara ventaja.

El mundo de los átomos, en el que toda diversidad cualitativa se reduce a diferencias de configuración y movimiento de los elementos homogéneos y permanentes, se halla en sorprendente contraste con el «confuso» reino de las cualidades sensoriales perecederas y heterogéneas. No cabe duda de que el esquema cinético-corpuscular de la naturaleza, en virtud de su mayor simplicidad, claridad y manejabilidad, representaba una verdadera economía de pensamiento en el sentido de Guillermo de Occam y Ernst Mach; pues mientras eliminaba lo que el profesor Margenau de-

nomina «la vaguedad de lo inmediatamente dado» [3], retenía su carácter pictórico y, más generalmente, intuitivo *(anschaulich)*. Es cierto que el propio Mach no reconocía en el atomismo una aplicación de su propio principio epistemológico; en este respecto, su actitud permanecía dogmáticamente negativa a pesar de la creciente evidencia empírica en pro de la existencia de los átomos. (Por curioso que parezca, su actitud fue mucho menos crítica hacia el atomismo en la psicología, en el que se basaba su asociacionismo.)

Más tarde discutiremos la cuestión de hasta qué punto el principio de la parsimonia es un criterio epistemológico fidedigno en la física moderna. El hecho es que la constitución general de la mente humana, junto con el continuo incremento de la evidencia empírica a finales del siglo pasado, fortaleció el convencimiento de que el esquema cinético-corpuscular era una representación adecuada y definitiva de la realidad física. El universo era considerado como un enorme agregado de trocitos de material homogéneo cuya cantidad permanecía invariable, mientras que la distribución espacial cambiaba continuamente según las leyes inmutables de la mecánica. Los conceptos clásicos de espacio, tiempo, materia, movimiento y causalidad eran las principales partes constitutivas de este esquema pictórico, y, a pesar de su naturaleza altamente abstracta, todos se basaban en los mismos elementos visuales y táctiles que eran característicos de todo el fondo imaginativo de la física clásica.

---

[3] Henry Margenau, *The Nature of Physical Reality*, McGraw-Hill Book Co., Nueva York, 1950, p. 56.

CAPITULO SEGUNDO

El concepto de espacio

LA SUBSTANCIALIDAD E INMUTABILIDAD DEL ESPACIO.

En la ciencia clásica el espacio era considerado como un medio homogéneo que existía objetiva e independientemente de su contenido físico, cuya rígida e intemporal estructura ha sido descrita por los axiomas y teoremas de la geometría de Euclides. Esta autosuficiencia del espacio y su independencia de la materia que contiene fue claramente formulada por Newton en sus *Principia:* «El espacio absoluto, en su propia naturaleza, sin consideración hacia ninguna cosa externa, permanece siempre similar e inmóvil» [1].

Esta era una hipótesis básica de la ciencia clásica. Newton no fue el primero que la formuló, aun cuando frecuentemente se la ve asociada con su nombre. Para no decir nada de Pierre Gassendi, Henry More y varios filósofos del Renacimiento —en particular Telesio, Pattrizzi, Bruno y Campanella [2]—, el concepto de Newton se hallaba virtualmente presente en el antiguo atomismo, como acentuó Einstein [3] poco antes de su muerte. Tan pronto como la materia fue definida como *plenum* —o sea, *espacio ocupado*—, en contraste con el *vacío* o *espacio desocupado*, se estableció la distinción entre el recipiente inmutable e independiente y su contenido físico variable.

No nos debe confundir el hecho de que los atomistas griegos del siglo V antes de J. C., Leucipo y Demócrito, llamaban al espacio el «No Ser» y lo comparaban con el eterno e indestructible «Pleno Ser», παμπλῆρες ὄν. En primer lugar, el término τὸ μὴ ὄν (No Ser) es un término que tomaron de los antiguos filósofos

---

[1] NEWTON, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, traducidos por A. Motte, revisados por F. Cajori (University of California Press, 1950), Scholium II.

[2] Sobre las ideas de Telesio, Pattrizzi, Bruno, Campanella y Gassendi, véase MAX JAMMER, *Concepts of Space* (Harvard University Press, 1957), pp. 83-88, 90-92.

[3] En el prefacio del libro de M. JAMMER, *Concepts of Space*, p. XV.

eleáticos Parménides y Melissos, para quienes el No Ser era simplemente la nada. Leucipo adoptó el lenguaje eleático, pero no el pensamiento eleático. En su idea, no había solución para las paradojas que tanto habían acentuado los eleáticos, a menos que se concediera al vacío cierto grado de existencia: la clase de existencia que pertenece al espacio desocupado, la condición que se consideraba necesaria para la realidad de movimiento y diversidad. A decir verdad, Demócrito, aprovechándose de la sutil distinción entre dos negativas griegas, acuñó su propio término para el espacio «No Ser» (τὸ οὐκ ὄν) ; evitó así el desorientador término original, aceptado por Leucipo, que con tanto vigor evocaba la pura nada de los eleáticos [4].

En segundo lugar, la propia materia, aunque en su esencia es inmutable y cuantitativamente invariable, se hallaba en cierto sentido sujeta a cambio porque sus partes constitutivas estaban dotadas de *movimiento*. Es cierto que este cambio no afectaba a las partículas en sí, sino únicamente a las distancias que las separan; no obstante, en contraste con las configuraciones variables de la materia, el espacio poseía inmutabilidad en sentido pleno y absoluto.

Así, en definitiva, la noción de espacio newtoniano independiente se esconde detrás de cualquier distinción explícita entre la substancia material y el espacio que ocupa: las posiciones subyacentes siguen siendo eternamente las mismas, pero sus ocupantes varían de cuando en cuando. Utilizando un lenguaje más ordinario, *la materia se mueve en el espacio*. Es precisamente esta separabilidad lógica del continente inmóvil vacío respecto de su contenido material móvil la que hace posible el *desplazamiento*. Los atomistas griegos, al acentuar esta separabilidad del espacio y la materia, prepararon, sin duda, el camino para el concepto newtoniano de espacio independiente y absoluto.

La verdadera inmutabilidad pertenece así al espacio únicamente. Con respecto al espacio, incluso los átomos eternos de Demócrito y de atomistas posteriores aparecen como accesorios, contigentes y aun sujetos a cambio. Aparecen como *accesorios* porque, siendo definidos como «plenos volúmenes de espacio», necesitan espacio para su existencia, mientras que no se da el caso contrario —el espacio puede existir sin ellos—. Aparecen como *contingentes* porque su ocupación de ciertas posiciones es única-

[4] C. BAILEY, *The Greek Atomists and Epicurus* (Oxford, 1928), p. 118.

mente accidental en el sentido de que no posee una necesidad lógica, comparable a las relaciones geométricas intemporales entre las propias posiciones. Finalmente, incluso aparecen como *variables* en cierto sentido, si no en sí mismos, al menos en sus relaciones mutuas dentro del espacio.

Esto se puede exponer de otro modo. En la ciencia atomística clásica *el espacio era lógicamente anterior a su contenido material.* Es cierto que la física clásica y la filosofía mecanicista que nació de ella proclamaron fuertemente que la substancia material es la única realidad verdadera; apenas sería compatible con este monismo hipotéticamente escrito si se acentuase por igual la realidad de otras entidades aparte de la materia. Pero suponiéndose en silencio la existencia del espacio vacío o afirmándose explícitamente, como hicieron, por ejemplo, los atomistas, no se apreciaba suficientemente su anterioridad lógica a la materia. Esto era simplemente natural. ¿Cómo se podía considerar como lógicamente anterior a la sólida realidad de los átomos eternos e indestructibles esta realidad negativa, denominada τὸ οὐκ ὄν (el no Ser) por Demócrito, *inane* por Lucrecio, y *nihil* por William Gilbert y Otto von Guericke? [5]. ¿Cómo podía ser lógicamente anterior al Ser el No Ser? La resistencia a aceptar estas conclusiones aparentemente absurdas se vio incrementada por una fácil confusión de anterioridad lógica con anterioridad ontológica o temporal. Nada habría parecido más absurdo que elevar el No Ser al rango de primer principio ontológico. Sin embargo, esto es precisamente lo que sucedió. En su *Enchiridion Metaphysicum* (1671), Henry More observó que los atributos del espacio son los mismos que los escolásticos asignan tradicionalmente al Ser Supremo:

> Unum, Simplex, Immobile, Aeternum, Completum, Independens, A se existens, Per se subsistens, Incorruptibile, Necessarium, Immensum, Increatum, Incircumscriptum, Incomprehensibile, Omnipresens, Incorporeum, Omnia permeans et complectans, Ens per essentiam, Ens actu, Purus actus [6] (*).

---

[5] W. Gilbert, *De mundo nostro sublunari philosophia nova* (Amsterdam, 1651), lib. II, cap. 8, p. 144; Otto von Guericke, *Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio* (Amsterdam, 1672), p. 61; C. Bailey, *loc. cit.*

[6] Henry More, *Enchiridion Metaphysicum* (Londres, 1671), VIII.

(*) Uno, Simple, Inmóvil, Eterno, Completo, Independiente, Existente por sí, Subsistente por sí, Incorruptible, Necesario, Inmenso, Increado, Incircunscripto, Incomprehensible, Omnipresente, Incorpóreo, Que todo lo penetra y lo abraza, Ser por esencia, Ser en acto, Acto puro.

Así, como observa Alexander Koyré, «por una extraña ironía de la historia, el κενόν (vacío) de los atomistas ateos se convirtió para Henry More en la propia extensión de Dios, en la propia condición de Su acción en el mundo» [7]. Esta ironía es menos extraña cuando recordamos que las raíces de la aparente paradoja se encuentran en la propia naturaleza del atomismo; como señalaron John Burnet y Cyril Bailey, fue un extraño logro para el fundador de la gran escuela materialista de la antigüedad haber afirmado que «*una cosa podía ser real sin ser un cuerpo*» [8]. Fue esta incorporeidad del espacio la que tan fácilmente cedió a su divinización.

Se sabe bastante bien cómo la divinización que hizo More del espacio influyó en la filosofía de Newton acerca de la naturaleza, en la que el espacio es considerado como atributo de Dios: el *sensorium Dei*, mediante el cual se hace posible la omnipresencia divina, así como el conocimiento divino de la totalidad de las cosas [9]. Pero frecuentemente se rechazaba esto como una simple y particular fantasía teológica, sobreañadida de manera artificial a las realizaciones científicas de Newton. Mas no es así. Si desconsideramos el lenguaje teológico de Newton vemos claramente que sólo confundía la anterioridad lógica del espacio a la materia con una anterioridad ontológica. Si sabemos hoy que esto fue una confusión, hemos de recordar que la confusión fue compartida por casi todos los científicos y filósofos clásicos durante dos siglos después de Newton. La anterioridad lógica, si no la temporal, del espacio a su contenido físico era un dogma que pocos se atrevían a poner en duda. Para Newton, lo mismo que para Gassendi y More, esta anterioridad era también temporal; el espacio absoluto, siendo atributo de Dios, tenía que existir, naturalmente, con anterioridad a la creación del mundo [10]. No había nada absurdo en esta creencia, aunque la coeternidad del espacio y la materia era igualmente compatible con la estructura conceptual de la cien-

---

[7] A. Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe* (John Hopkins University Press, 1957), p. 154.

[8] John Burnet, *Early Greek Philosophy*, 2.ª ed. (Londres, 1920), p. 389; C. Bailey, *op. cit.*, p. 76.

[9] Sobre la influencia de Henry More en Newton, véase Jammer, *op. cit.*, p. 111; Koyré, *op. cit.*, caps. V, VI, VII, en particular p. 159.

[10] Pierre Gassendi, *Opera omnia*, Florencia, 1727, vol. I, p. 163: "spatia immensa fuisse antequam Deus conderet mundum"; H. More, *op. cit.* cap. VIII, 10, p. 71; E. A. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, edición revisada (Humanities Press, 1951), p. 257.

cia clásica. La opción entre estas dos ideas dependía de las preferencias religiosas personales. Con el cambio de la inclinación pública del deísmo al panteísmo o ateísmo se adoptó la segunda alternativa, que era lógicamente más simple. Pero la falta de simplicidad lógica y la falta de consistencia son dos cosas diferentes. La coeternidad del espacio y la materia parece ser una hipótesis más económica y más elegante que la arbitraria creación de la materia en una fecha definida del pasado; ésta es la razón por la que un completo retorno al atomismo clásico parecía a los materialistas y monistas posteriores incomparablemente más satisfactorio que una combinación híbrida de la metafísica de Lucrecio y el teísmo cristiano que hallamos en Gassendi y Newton. Pero aunque a Newton se le puede acusar de hacer una hipótesis artificial, no se le puede culpar de una contradicción intrínseca; la anterioridad temporal del espacio a su contenido material, aunque no se deriva de su anterioridad lógica, al menos *no* la contradice.

Considerados o no como coeternos el espacio y la materia, el carácter absoluto del espacio, o sea, su independencia de la materia, apenas se ponía en duda. Había unos cuantos disidentes: Leibniz, Huygens y Berkeley son los más famosos [11]. Por otra parte, la diferencia entre la filosofía cartesiana rival y la filosofía de Newton era en este punto concreto más aparente que real. Es cierto que Descartes, al insistir en la inseparabilidad del espacio respecto de la materia, reta aparentemente a la anterioridad lógica del espacio afirmada por Newton. Pero Descartes hizo ambigua su filosofía de la naturaleza reteniendo únicamente las propiedades geométricas de la materia. Si incluso la impenetrabilidad se relega al reino de las cualidades secundarias subjetivas [12], ¿en qué sentido inteligible se puede llamar todavía *plenum* al espacio? Esta no es la única dificultad intrínseca del cartesianismo; otra no menos grave, relacionada con la posibilidad de movimiento, se mencionará en un contexto distinto.

La filosofía cartesiana de la naturaleza era en cierto sentido

---

[11] *The Leibniz-Clarke Correspondence*, editada por H. G. Alexander (Philosophical Library, 1955); MAX JAMMER, *op. cit.*, pp. 114-122; *Oeuvres complètes de Christian Huygens* (La Haya, 1905), vol. X, p. 609; H. REICHENBACH, "Die Bewegungslehre bei Newton, Leibniz und Huygens", *Kant-Studien*, Bd. 92 (1924), p. 421; G. BERKELEY, *De motu*, en particular §§ 52-65.

[12] *Principia philosophiae*, pars II, 4, en CH. ADAM y PAUL TANNERY, eds., *Oeuvres de Descartes* (París, 1905), vol. VIII, p. 42.

aún más newtoniana que la de Newton; mientras que para Newton el espacio era la realidad *primaria*, para Descartes era la *única realidad verdadera* del mundo físico. Por consiguiente, apenas resulta sorprendente que Spinoza, y, hasta cierto punto, incluso Malebranche, que tanto debía a Descartes, llegasen casi a la misma divinización del espacio que Newton; también para Spinoza la extensión era uno de los atributos de Dios [13].

Por su lenguaje teológico, a Spinoza se le ha criticado mucho menos que a Newton. Sin embargo, si toleramos la vestidura teológica del pensamiento de Spinoza, debiéramos adoptar la misma actitud hacia el «misticismo» de Newton. Para ambos pensadores era el carácter absoluto del espacio el que conducía a su divinización, y no viceversa. La mayor indulgencia hacia el lenguaje religioso de Spinoza se debe probablemente al hecho de que su panteísmo está más de acuerdo con la inclinación moderna que la filosofía de Newton, con sus acentos deístas. Ciertamente que nadie sospecharía de ocultas tendencias teológicas, ni siquiera panteístas, en Bertrand Russell; sin embargo, aparte la terminología religiosa, la insistencia de Newton sobre la independencia del espacio respecto de su contenido material apenas se ha vuelto a exponer con mayor precisión y claridad que Russell en sus *Principles of Mathematics:*

> No hay ninguna implicación lógica de otras entidades en el espacio. No se deduce, simplemente por haber espacio, que hay, por consiguiente, cosas en él. Si hemos de creer esto, debemos creerlo basándonos en nuevos fundamentos, o más bien en lo que se denomina la evidencia de los sentidos. Así damos un paso enteramente nuevo [14].

El libro se publicó en 1903. La parte VII, de donde hemos tomado la cita, es probablemente una de las sistematizaciones más exactas que existen de los principios básicos de la ciencia clásica. La fecha es significativa; demuestra cómo la filosofía de Newton acerca de la naturaleza dominó incluso las mentes que eran más

---

[13] *Ethica*, II, prop. 2: "Extensio attributum Dei est, sive Deus est res extensa". Malebranche identificó similarmente la inmensidad del Ser Divino con la infinitud del espacio, pero trató de evitar la eternidad del espacio diferenciando entre espacio "inteligible" y "material". Tal distinción verbal, hecha evidentemente para fines teológicos, no salvó a Malebranche de la acusación de espinosismo. (A. KOYRÉ, *op. cit.*, p. 155-159).

[14] B. RUSSELL, *Principles of Mathematics* (Nueva York, Norton, 1903; 2.ª ed., 1938, cap. 53, p. 465).

propensas al moderantismo en época tan reciente como la de principios de este siglo.

Tal vez no se halle fuera de lugar aquí una digresión filosófica. La relación entre el espacio clásico y la materia clásica tiene un equivalente interesante en un nivel más abstracto de la especulación filosófica. Ya hemos señalado que el espacio para los antiguos atomistas se llamaba el No Ser en contraste con la solidez del Ser, que era sinónimo de la substancia material impenetrable que llenaba el espacio. Hemos visto cómo la anterioridad lógica del espacio, sólo implícita al principio, se hizo explícita por último, y cómo el No Ser se convirtió finalmente en atributo del Ser Supremo. El mismo proceso tuvo lugar en un nivel más abstracto cuando los términos Ser y No Ser quedaron libres de imágenes espaciales concomitantes y se les empezó a comprender en su más amplio sentido actual. La relación entre el Ser abstracto y el No Ser siguió siendo básicamente la misma que la relación entre la materia y el vacío. Lo mismo que el vacío parece preceder a la materia que lo llena, el No Ser parece ser lógicamente anterior al Ser. Mientras que la nada parece ser autosuficiente y autoafirmativa, el Ser parece requerir una razón suficiente para su propia presencia.

Todas las cuestiones metafísicas relacionadas con el origen y justificación de la existencia en general parecen nacer de esta supuesta anterioridad del No Ser. Como dice Bergson:

> Desde el primer despertar de la reflexión es esto lo que surge justamente bajo los ojos de la conciencia: los problemas torturadores, las cuestiones que no podemos considerar sin sentirnos mareados y perplejos. Tan pronto como me pongo a filosofar me pregunto a mí mismo por qué existo; y cuando tomo en cuenta la conexión íntima en que me hallo con el resto del universo, la dificultad vuelve a aparecer de golpe, pues deseo saber por qué existe el universo; y si remito el universo a un Principio inmanente o trascendente, que lo apoya o lo crea, mi pensamiento descansa sobre este principio sólo unos momentos, pues reaparece el mismo problema, esta vez en toda su extensión y generalidad: ¿De dónde viene, y cómo se puede entender que existe algo?... Ahora bien, si echo a un lado estas preguntas y voy directo a lo que se oculta detrás de ellas, esto es lo que encuentro:
>
> La existencia me parece como una conquista sobre la nada. Me digo que puede existir la nada, que realmente debe existir, y entonces sospecho que existe algo. O me imagino toda la realidad extendida sobre la nada como sobre una alfombra: al principio era la nada, y el ser fue sobreañadido después. O, dicho de otra manera, si algo ha existido siempre, nada debió servirle nunca de substrato o receptáculo, y, por

tanto, es eternamente anterior. Puede que un vaso haya estado siempre lleno, pero el líquido que contiene llena, no obstante, un vacío. De igual modo, el ser puede haber existido siempre, pero la nada que está llena y, por decirlo así, atascada de él, le preexiste a pesar de todo, si no de hecho, al menos en derecho. En resumen, no puedo desembarazarme de la idea de que lo lleno es un bordado sobre el lienzo del vacío, que el ser está superpuesto sobre la nada, y que en la idea de la «nada» hay *menos* que en la de «algo» [15].

Esto fue escrito en 1907, y desde entonces se ha substanciado ampliamente su corrección. Cuando unos años después escribió Paul Valéry:

> *Que l'univers n'est qu'un défaut*
> *Dans la pureté du Non-Être!* [16].

simplemente utilizó una metáfora distinta para ilustrar la misma hipótesis básica acerca de la anterioridad lógica y ontológica de la nada, sobre la cual está superpuesto el Ser de un modo irracional e inexplicable.

La misma cuestión de la irracionalidad básica del Ser en contraste con la autosuficiencia lógica del No Ser fue suscitada poco después por Martin Heidegger: «Warum ist überhaupt Seiendes und nicht vielmehr Nichts?» (¿Por qué existe cualquier ser, y no precisamente la nada?) [17]. Esta, según Heidegger, es la cuestión fundamental de la metafísica alrededor de la cual gira el existencialismo contemporáneo.

Está fuera del alcance de este capítulo reproducir la crítica de Bergson acerca de nuestra casi irresistible tendencia psicológica a considerar el No Ser como autoafirmativo y lógicamente autosuficiente, mientras que el Ser parece necesitar una justificación especial —la «razón suficiente» de Leibniz—. Aquí basta recordar la conclusión de Bergson: El concepto del No Ser absoluto es un pseudoconcepto que no se puede mantener en la mente de manera autoconsistente; la tendencia a afirmar el No Ser como existente con anterioridad al Ser no es nada más que una obstinación del hábito mental, cuyo convencimiento ilusorio

---

[15] *Creative Evolution*, traducida por A. Mitchell (Nueva York, Modern Library, 1944), pp. 299-300.

[16] "Que el universo es un fallo en la pureza del No-Ser", PAUL VALERI, *Les Charmes* (París, 1922), el poema "Le serpent".

[17] MARTIN HEIDEGGER, *Was ist Metaphysik?*, 7.ª ed. (Francfort del M., 1955), p. 42. (La primera edición, en 1924.)

desaparece, una vez analizado psicológicamente. Por consiguiente, la existencia en general no necesita ninguna justificación trascendente; su irracionalidad desaparece tan pronto como el No Ser rival se reconoce como ficción verbal. Pues sólo la supuesta preexistencia lógica de la nada hace que aparezca la realidad como entidad contingente y sobreañadida que, según las palabras de Paul Valéry, no hace más que echar a perder la pureza original del No Ser. Bergson no dice explícitamente que la relación entre el No Ser y el Ser es la misma que entre el vacío y la materia en la ciencia clásica. Pero todo su análisis lo indica, y la expresión acerca de lo lleno «como bordado sobre el lienzo del vacío» casi lo expone. Así, incluso las especulaciones metafísicas más abstrusas se ven matizadas por hábitos mentales adquiridos al sistematizar nuestra experiencia sensorial. ¿Significa esto que ciertos enigmas metafísicos pueden desaparecer cuando se ensancha y modifica nuestra experiencia física? Volveremos a esta cuestión a su debido tiempo.

La homogeneidad del espacio y sus consecuencias.

Intimamente relacionada con la independencia e inmutabilidad del espacio está su *homogeneidad;* en realidad, como veremos, su independencia e inmutabilidad nacen de su homogeneidad. Lógicamente, habría sido mejor empezar por la homogeneidad del espacio y señalar todo lo que está implícito en ella. Si se invierte el orden de nuestra exposición, es porque hemos empezado por la definición de Newton, históricamente importante, que acentúa la inmutabilidad e independencia del espacio, mientras que su homogeneidad, aunque supuesta en silencio, no se menciona explícitamente. La hipótesis tácita de la homogeneidad del espacio se estableció tan pronto como se separó al espacio de su contenido físico; y esto, como sabemos, lo habían hecho los atomistas griegos. A su juicio, toda la diversidad cualitativa del mundo procede de las varias posiciones, formas y movimientos de la materia, no de alguna diferenciación intrínseca del propio espacio, como creían Aristóteles y sus seguidores; la repulsa de la idea de «lugar natural», que es la heterogeneidad cualitativa del espacio, es precisamente una de las modernas facetas del atomismo de Demócrito.

Es natural que en el siglo de Newton, que en tantos respectos

consiguió un retorno consciente a las antiguas ideas griegas, se empezara a acentuar explícitamente la homogeneidad del espacio. John Locke, el contemporáneo y amigo de Newton, aunque rechazaba la posibilidad de definir el espacio, trató, no obstante, de hacer explícito su significado: el espacio, según él, es el *principium individuationis,* lo cual nos permite distinguir dos sensaciones simultáneas cualitativamente idénticas; dos objetos simultáneamente percibidos sólo pueden ser numéricamente distintos si están en dos lugares diferentes [18]. En otras palabras, el espacio es un principio de diferenciación distinto al de diferenciación cualitativa; en cuanto se refiere a su cualidad, todas las posiciones en el espacio son enteramente *equivalentes*, o sea, cualitativamente idénticas; su única distinción se debe exclusivamente a sus *relaciones de yuxtaposición* o *coexistencia.* De lo contrario, dos objetos cualitativamente idénticos seguirían siendo indistinguibles; sólo su yuxtaposición les hace numéricamente distintos. Locke formuló simplemente así lo que tácitamente se llegó a suponer tan pronto como nació la idea de espacio.

Por las dos citas que siguen se puede ver en qué amplia medida fue aceptada la definición de Locke, incluso por dos filósofos de nuestro propio siglo, que en otros respectos eran diametralmente opuestos:

> Porque apenas es posible dar otra definición de espacio: el espacio es lo que nos permite distinguir unas de otras un número de sensaciones idénticas y simultáneas; es así un principio de diferenciación, distinto al de diferenciación cualitativa, y, por consiguiente, es una realidad sin ninguna cualidad. (H. Bergson, *Time and Free Will*, p. 95.)
>
> Todos los puntos son cualitativamente similares, y se distinguen por el mero hecho de estar situados unos fuera de otros. (B. Russell, *Essay on the Foundations of Geometry*, p. 52.)

La independencia del espacio respecto de su contenido físico es una consecuencia inmediata de su homogeneidad: otras diferencias que las de yuxtaposición no pertenecen a los propios puntos, sino que son debidas a la presencia de la substancia advenediza *que ocupa* los puntos. Las partes del espacio que están vacías y las que están ocupadas por la materia difieren esencialmente en un solo respecto: que están situadas unas fuera de otras; solamente de un modo secundario, accesorio y temporal difieren a

---

[18] John Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*, lib. II, cap. XXVII, "Of Identity and Diversity".

causa de su contenido o falta de contenido. El adjetivo «temporal» es importante; indica que el cambio pertenece únicamente a la configuración de las partículas materiales, no al propio espacio. Lo que cambia es la ocupación de cierta región de espacio, mientras que la propia región sigue siendo eternamente idéntica, como acentuó Newton.

Otras dos facetas del espacio clásico —la infinidad y la continuidad matemática (divisibilidad infinita)— se deducen directamente de su homogeneidad. Todo límite de espacio se presentará a nuestra imaginación como arbitrario, debido a la presencia de alguna barrera material que, estando localizada *en* el espacio, no puede ser término *del* espacio. Las bóvedas cristalinas de la cosmología de Aristóteles y de Ptolomeo eran barreras materiales semejantes, y todas las elaboradas pruebas de Aristóteles de que fuera de la esfera de las estrellas fijas no hay espacio en absoluto resultan de todo punto incapaces de convencer. Así les parecían incluso a algunos de sus contemporáneos y predecesores. Arquitas de Tarento había formulado ya la pregunta de qué hay *detrás* del supuesto confín del mundo:

> Si estoy en la extremidad del cielo de las estrellas fijas, ¿puedo extender la mano o el báculo? Es absurdo suponer que no podría; y si puedo, lo que hay fuera debe ser o cuerpo o espacio. De igual manera, podemos llegar de nuevo al exterior de eso entonces, y así sucesivamente; y si siempre hay un nuevo lugar hacia el cual se puede extender el báculo, esto implica claramente una extensión sin límite [19].

Lucrecio volvió a formular la pregunta de Arquitas cuando preguntó si es posible disparar una flecha más allá del supuesto límite del espacio. Este pasaje de Lucrecio aparece citado por Giordano Bruno [20], mientras que John Locke, el contemporáneo de Newton, repitió casi *verbatim* el argumento de Arquitas [21].

La pregunta de Arquitas expresaba nuestra irresistible tendencia a considerar como provisional todo límite dentro del espacio y a continuar imaginando nuevas y nuevas regiones de es-

---

[19] F. M. CORNFORD, "The Invention of Space", in *Essays in Honor of Gilbert Murray* (Londres, Allen & Unwin, 1936), p. 233.

[20] LUCRECIO, *De rerum natura*, I, vv. 968-983, acerca de la posibilidad de disparar una flecha más allá de un supuesto límite del espacio; G. BRUNO, *On the Infinite Universe and the Worlds*, traducido por Dorothea Singer (Nueva York, Schumann, 1950), la epístola preliminar en que se cita el precedente pasaje de Lucrecio.

[21] LOCKE, *op. cit.*, lib. II, cap. XIII, "Vacuum Beyond the Utmost Bounds of Body".

pacio más allá de cualquier supuesto término. Esta tendencia se ve incorporada en el segundo postulado de Euclides, según el cual todo segmento rectilíneo puede extenderse más allá de sus extremidades. La misma tendencia condujo a los atomistas griegos a postular la infinidad del espacio y más tarde inspiró a algunos filósofos del Renacimiento, en particular a Bruno, para eliminar las esferas celestiales de Aristóteles.

Con el advenimiento de la física newtoniana, la idea de la infinidad se hizo tan natural que, cuando Kant discutió su Primera Antinomia, abordó el dilema de si el *universo material* es finito o infinito, no el de si tiene o no límites el espacio que lo contiene [22]. Cien años después de Kant, William Thomson manifestó seguro de sí mismo: «Digo que lo finito es incomprensible, pero que es comprensible la infinidad en el universo. ...Aun si se camina millones y millones de años, la idea de llegar a un fin es incomprensible» [23]. Lo irresistible de nuestra creencia en el espacio infinito es, en el fondo, una negativa de nuestra mente a aceptar una proposición evidentemente contradictoria de que detrás de ciertas regiones del espacio no existe ninguna otra región, ningún «más allá». La hipótesis de que hay una clase privilegiada de puntos que constituyen el término del espacio destruiría la homogeneidad del espacio.

> ¿Cómo puede formar cierta línea, o cierta superficie, una barrera impenetrable para el espacio, o tener una movilidad diferente en género de la de otras líneas o superficies? En filosofía, esta noción no se puede permitir ni por un momento, puesto que destruye el más fundamental de todos los axiomas, la homogeneidad del espacio [24].

Esto fue escrito por Bertrand Russell en 1897, o sea, casi en los umbrales de la revolución contemporánea de la física que cambió tan profundamente el concepto clásico de espacio. Ciertamente, no es preciso poseer mucha imaginación para reconocer en este pasaje de Russell el viejo argumento de Arquitas, Lucrecio y Bruno: bajo el elegante nombre de «axioma de la libre movilidad» de Russell reconocemos la antigua afirmación de que siempre es

---

[22] I. KANT, *Critique of Pure Reason*, traducida por Norman Kemp Smith (Humanities Press, 1950); "Antinomies of Pure Reason", pp. 396 y sigs. La infinidad del espacio se halla afirmada por KANT en la *Estética Trascendental*, pp. 69-70.

[23] W. THOMSON, *Popular Lectures and Addresses*, I (Nueva York, Macmillan, 1891), pp. 314-315.

[24] B. RUSSELL, *An Essay on the Foundations of Geometry* (Dover, 1956; la edición original, 1897), p. 49.

posible extender un báculo o disparar una flecha por muy lejos que vayamos.

De cuanto antecede se deduce lo que a primera vista puede parecer paradójico: la homogeneidad del espacio implica *la relatividad de posición.* Pero esta afirmación no tiene nada que ver con la teoría relacional del espacio ni con la moderna teoría de la relatividad. Todas las posiciones son equivalentes en el espacio clásico o a causa de su homogeneidad. Esto se halla en agudo contraste con la cualidad absoluta de la posición en la física aristotélica. En el universo de Aristóteles los denominados «lugares naturales» se diferenciaban no sólo por su exterioridad mutua, sino también por sus respectivas distancias respecto de la tierra, que, junto con el sistema de las esferas celestiales, representaba el ángulo absoluto de referencia. Las posiciones dentro de tal ángulo de referencia eran posiciones *absolutas* y sus diferentes distancias respecto del absoluto centro inmóvil del universo determinaban las cualidades intrínsecamente distintas de los diferentes «lugares naturales». Hay una clara conexión entre la cualidad absoluta de la posición y la heterogeneidad del espacio. Sólo por medio de la eliminación de los términos y del centro del universo se pudo conservar la relatividad de la posición y la homogeneidad del espacio. Así, cuando Giordano Bruno dirigía su ataque contra el universo finito de Aristóteles, destruía al mismo tiempo la física aristotélica; al retornar al espacio infinito de los antiguos atomistas, reafirmaba la homogeneidad del espacio, que era incompatible con la doctrina de los cuatro elementos y sus «lugares naturales». En el espacio sin límites y cualitativamente indiferenciado no existen lugares privilegiados ni direcciones privilegadas; por consiguiente, no hay fundamento para el viejo dualismo de la tierra y el cielo, ni para los elementos cualitativamente distintos que residen en sus propias regiones. Un siglo antes de Newton, Bruno discernía claramente las principales facetas de la cosmología futura [25].

La homogeneidad del espacio implica también su *divisibilidad infinita.* Como la relación de yuxtaposición es universal, relaciona a *cualquier* pareja de puntos, por muy próximos que se encuentren. En otras palabras, por muy diminuto que sea el intervalo espacial, siempre ha de ser un intervalo que separa dos puntos, cada uno de los cuales es *externo* respecto al otro. Afir-

---

[25] H. HÖFFDING, *A History of Modern Philosophy* (Dover, 1956), I, pp. 123-130.

mar que ciertos intervalos de espacio son indivisibles significa que es imposible discernir partes yuxtapuestas entre ellos; pero como la yuxtaposición es la propia esencia de la espacialidad, ¡esto significaría que tales intervalos están en sí faltos de espacialidad! Así, la tesis de los intervalos espaciales indivisibles resulta autodestructiva: aunque niega la posibilidad de «longitudes cero» (o sea, puntos), al mismo tiempo reintroduce su existencia de manera subrepticia cuando habla de los intervalos atómicos que separan dos *puntos* muy próximos.

Si admitimos la existencia de puntos, tenemos que admitir su distribución igualmente densa sobre la totalidad del espacio sin excluirlos de ciertas zonas prohibidas, por muy pequeñas que sean. La estructura atómica del espacio sería incompatible con la homogeneidad del espacio, pues conduciría a la absurda conclusión de que hay «agujeros» en el espacio, o sea, regiones carentes de espacialidad. Esto es totalmente inconcebible; cuando tratamos de crear «agujeros» en el espacio, entonces, como dice Lotze, «la laguna que tratamos de crear se llena en seguida de espacio tan bueno como el suprimido»[26]. En el espacio clásico el atributo de indivisibilidad puede pertenecer únicamente a las «longitudes cero», o sea, a los puntos.

En el pensamiento griego también se puede hallar la pista del concepto de la divisibilidad infinita del espacio. Subyace en los argumentos de Zenón de Elea contra la posibilidad de movimiento; está implícito en el primer postulado de Euclides, según el cual es posible trazar una línea recta entre *cualquier* pareja de puntos, por muy próximos o separados que estén. Esto excluye la posibilidad de «agujeros» en el espacio. Está más explícito en la décima proposición del primer libro de Euclides, que demuestra la posibilidad de bisecar *cualquier* segmento rectilíneo; esto excluye también la posibilidad de cualquier longitud atómica. En este respecto, apenas añadió algo el período moderno, excepto una mayor claridad de formulación. Es bastante típica la siguiente exposición de Kant, cuya filosofía se hallaba tan imbuida del espíritu de la física clásica y de la geometría de Euclides:

> La propiedad de la magnitud mediante la cual ninguna parte de ellas es la más pequeña que puede existir, o sea, mediante la cual ninguna parte es simple, se llama su continuidad. El espacio y el tiempo son *quanta continua*, porque no puede darse ninguna parte de ellos, ex-

---

[26] H. Lotze, *Metaphysics*, editado por B. Bosanquet (Oxford, 1884), II, p. 189.

cepto como encerrada entre límites (puntos o instantes), y, por tanto, sólo de tal manera esta parte vuelve a ser en sí espacio o tiempo. Así, pues, el espacio se compone únicamente de espacios, y el tiempo sólo se compone de tiempos. Los puntos e instantes son únicamente límites, o sea, meras posiciones que limitan el espacio y el tiempo [27].

En la idea de Kant el énfasis recae sobre la totalidad y unidad del espacio que existe *con anterioridad* a los puntos; estos últimos son límites meramente ideales que realmente nunca se alcanzan. Según Bertrand Russell, lo contrario es lo cierto; los puntos son las *partes constitutivas del espacio.* En esta idea, el espacio es considerado como un agregado infinito de todos los puntos carentes de dimensión [28]. Pero, hablando filosóficamente, apenas existe diferencia significativa entre estas dos ideas; ambas aceptan la divisibilidad infinita del espacio. La única diferencia es que, mientras para Kant el espacio es *divisible sin límite*, para Russell se halla *realmente dividido* en un número infinito de partes. Además, como observó Whitehead, la idea de Kant no era consistente en este respecto, y la idea idéntica a la de Russell simplemente se puede hallar unas cuantas páginas antes del pasaje citado [29]. Pero teniendo en cuenta que son correlativos el concepto de punto inextenso y la divisibilidad infinita del espacio, es más justo considerar que la diferencia entre los dos pasajes es más bien de énfasis que de substancia. La idea de Russell parecía expresar de forma más completa y más explícita las trayectorias del pensamiento clásico, para el cual el concepto de posición geométrica a manera de punto era de importancia fundamental, como veremos.

El «tema de Gulliver» y la relatividad de la magnitud.

La creencia en la continuidad matemática del espacio era de tremenda importancia para *la idea clásica de la realidad microfísica.* Condujo a la hipótesis de que el espacio microfísico es

---

[27] I. Kant, *op. cit.*, p. 204.

[28] B. Russell, *Principles of Mathematics*, p. 443.

[29] A. N. Whitehead, *Science and the Modern World* (Nueva York, Macmillan, 1926), p. 184; *Critique of Pure Reason*, p. 198. Whitehead cita este pasaje de la traducción de Max Müller: "Llamo cantidad extensa a aquella en que la representación del todo se hace posible mediante la representación de sus partes, y, *por lo tanto, se ve necesariamente precedido por ella*". (La cursiva es de Whitehead.)

como el espacio que rodea nuestros cuerpos y que el mundo de los átomos difiere únicamente en tamaño del mundo de nuestra percepción sensitiva. En otras palabras, reduciendo las dimensiones de los cuerpos visibles en la misma proporción, podemos obtener un modelo satisfactorio de objetos microfísicos. Como recientemente observó Pierre Maxime Schuhl, parece que nuestra imaginación se halla dominada por el «tema de Gulliver»: un término pintoresco para el postulado de la homogeneidad del espacio. Liliput es exactamente como nuestro mundo humano, excepto en el tamaño; todas las proporciones se conservan exactamente. De manera análoga, Brobdingnag no es básicamente otra cosa que nuestro mundo construido en mayor escala [30]. Esta idea de similitud geométrica entre varias capas de magnitudes espaciales es uno de los temas más característicos del pensamiento clásico. Como veremos, solamente lo van abandonando ahora los físicos (y especialmente los filósofos) con no poca resistencia.

Durante casi tres siglos, el «principio de Gulliver» pareció estar bien substanciado, no sólo por nuestro sentido común, sino también por el creciente número de descubrimientos hechos mediante el microscopio y el telescopio. Existía una evidencia cada vez mayor de que a nuestra ilimitada capacidad subjetiva de imaginar volúmenes cada vez más pequeños o cada vez mayores correspondía objetivamente la infinita serie convergente de volúmenes físicos reales, cada uno contenido en otro inmediatamente mayor, mientras que toda la serie infinita era, según palabras de Whitehead, «como el juguete chino con un nido de cajas, una dentro de otra» [31]. Esto era lo que empezaba a mostrar el microscopio, abriendo ante nuestros ojos una vista aparentemente ilimitada en la dirección de lo infinitesimal, mientras que el telescopio extendía nuestro campo visual en la dirección opuesta. Aquí se hallaba la fuente de la ansiedad de Pascal cuando le abrumaba la posición del hombre que flota entre «dos abismos de infinidad» y cuando confesaba su incapacidad de alcanzar lo infinitamente grande o lo infinitamente pequeño. Su humildad era indudablemente sincera; pero no se daba cuenta de cómo el mundo aparecía realmente *transparente* ante él, en contra de

---

[30] PIERRE MAXIME SCHUHL, "Le thème de Gulliver et le postulat de Laplace", *Journal de Psychologie*, 51e année (1947), pp. 169-1884.

[31] *The Concept of Nature* (Cambridge University Press, 1950), p. 61. Aquí WHITEHEAD se ocupa de la continuidad del tiempo clásico, que era tratada del mismo modo que la del espacio clásico.

sus declaraciones. Lo que hacía era simplemente sacar las consecuencias del concepto euclidiano de la homogeneidad del espacio y aceptar incluso el que parecía más contrario, o sea, *la relatividad de la magnitud.* El hombre es un átomo insignificante en comparación con el universo estelar, pero es un verdadero universo en comparación con el diminuto mundo del gusano de la carne. Y a su vez este gusano contiene un infinito número de mundos todavía más pequeños:

> Pero para mostrarle a él (o sea, al hombre) otro prodigio igualmente asombroso, permítasele examinar las más delicadas cosas que conoce. Entrégueselle un ácaro con su diminuto cuerpo y partes incomparablemente más diminutas, miembros con articulaciones, venas en los miembros, sangre en las venas, humores en la sangre, gotas en los humores, vapores en las gotas. Volviendo a dividir estas últimas cosas, permítasele que agote sus facultades de concepción, y el último objeto a que pueda llegar sea ahora el de nuestro discurso. Tal vez piense que en él está el punto más pequeño de la naturaleza. Yo le haré ver en él un nuevo abismo. Le pintaré no sólo el universo visible, sino todo lo que pueda concebir de la inmensidad de la naturaleza en las entrañas de este reducido átomo. Permítasele ver en él la infinidad de los universos, cada uno de los cuales tiene su firmamento, sus planetas, su tierra, en la misma proporción que en el mundo visible; en cada tierra, animales; y en éstos, ácaros, en los que encontrará de nuevo todo lo que tenía el primero, hallando todavía en estos otros la misma cosa sin fin y sin interrupción. Permítasele perderse en maravillas tan asombrosas por su pequeñez como las otras por su vastedad. Pues ¿quién no se asombrará de que nuestro cuerpo, que hace un breve instante era imperceptible en el universo, este último imperceptible en el seno del todo, es ahora un coloso, un mundo, o más bien un todo, con respecto a la nada que no podemos alcanzar? [32].

Cito este famoso pasaje literario en toda su extensión, no sólo porque expresa la homogeneidad y continuidad del espacio mucho más gráficamente que la fantasía de Swift, sino también como testigo de que la idea de mundos dentro de mundos estaba lejos de ser extraña. El descubrimiento de los microorganismos demostró que, más allá de los límites de nuestra percepción sensorial, el microorganismo inaccesible a los sentidos tiene básicamente las mismas facetas que el mundo que vemos a nuestro alrededor.

Este pensamiento explica la curiosa popularidad de la teoría de la preformación que suscribieron los más destacados científicos

---

[32] PASCAL, *Pensées*, traducidos por W. F. Trotter (Nueva York, Dutton, 1931), página 17.

del siglo XVII, incluyendo a Leibniz, Swammerdam, Malpighi y Hartsoeker. Según esta teoría, un animal adulto preexiste en forma completa, aunque en escala extremadamente pequeña, dentro de un embrión original. El único desacuerdo se refería a la cuestión de si es un huevo o un espermatozoo el que contiene al animal futuro [33]. La idea de que el organismo embrionario difería del organismo adulto, únicamente en tamaño y no en estructura, se hallaba ciertamente muerta en el siglo pasado; pero la creencia similar de que el átomo de la materia es una miniatura del sólido cuerpo de nuestra experiencia ordinaria era una de las piedras angulares de la física victoriana, y aún hoy se halla subrepticiamente presente en la imaginación de un considerable número de físicos. Sin embargo, estas ideas, por el mismo fundamento, son excrecencias naturales de la fe en la homogeneidad del espacio o la *similitud geométrica* entre el mundo de los átomos y el mundo de nuestras dimensiones.

Dos famosos físicos de la era newtoniana, Christian Huygens y G. W. Leibniz, no rehuyeron la idea de Pascal acerca de una cadena infinita de mundos que difieren en tamaño, pero no en forma, cuando se enfrentaron con el problema de explicar la elasticidad de los átomos [34]. Aún más significativo resulta que esta teoría fuera seriamente propuesta en fecha tan reciente como la de principios de este siglo por Fournier d'Albe, que afirmaba que los átomos de nuestro universo son los soles del próximo universo más pequeño, mientras que los electrones son sus planetas, y así sucesivamente *in infinitum*; dentro del verdadero espíritu de Pascal, incluso hablaba de la «química y biología del inframundo». Solamente consistía en completar tales especulaciones mediante otras similares con relación al «supramundo» de las galaxias, que eran consideradas como superorganismos gigantes [35]. Estas fantásticas especulaciones parecen extravagantes, pero su autor era

---

[33] E. MEYERSON, *De l'explication dans les sciences* (París, 1921), I, pp. 156-159; P. M. SCHUHL, *loc. cit.*, pp. 176 y sigs.

[34] CH. HUYGENS, *Treatise on Light*, traducido por Silvanus P. Thomson, cap. I: "Y no se debe pensar que en esto hay algo absurdo o imposible, siendo, por el contrario, perfectamente creíble que es esta infinita serie de diferentes tamaños de corpúsculos, que tienen diferentes grados de velocidad, de la que hace uso la Naturaleza para producir tantos y tan maravillosos efectos". La misma idea fue expresada por Leibniz: "Y como este fluido debe estar compuesto de pequeños cuerpos sólidos, elásticos entre sí, vemos que esta réplica de sólidos y líquidos continúa hasta el infinito". *Leibnizens Mathematische Schriften*, editado por G. J. Gerhardt (Halle, 1850-1863), VI, p. 228.

[35] FOURNIER D'ALBE, *Two New Worlds* (Londres, 1907), p. 134.

enteramente correcto al acentuar su compatibilidad lógica con el principio de la relatividad de la magnitud, que es solamente un aspecto de la homogeneidad del espacio.

La teoría de Pascal acerca de la cadena infinita de mundos dentro de mundos es probablemente más excusable que la del físico del siglo XX. En el siglo XVII la teoría de las ondas de luz no se hallaba generalmente aceptada. Como demuestra el caso de Huygens, inclúso los que defendían la teoría no veían claramente que la naturaleza ondulatoria de la luz impone un límite definido a la ampliación de la imagen microscópica. Y cuando este límite se estableció de manera convincente en el siglo XIX, se consideraba como un obstáculo puramente técnico que de ningún modo afectaba a la ampliación de la «imagen mental». La imaginación de los físicos volaba con libertad y sin impedimentos más allá de los límites de la imagen microcósmica al construir modelos de lo que John Tyndall denominaba «mundo subsensible» [36]. Los mismos elementos sensoriales de que está construido nuestro mundo perceptivo eran utilizados como material de construcción para los micromodelos. Incluso el primer modelo planetario del átomo de Bohr parecía confirmar la creencia de que el microcosmos es meramente el macrocosmos con todas sus dimensiones enormemente reducidas en la misma proporción. Esto explica probablemente la gran popularidad de este modelo incluso en nuestros días, como lo demuestran las cubiertas de numerosos libros y revistas populares que presentan diagramas de las órbitas en que se mueven los electrones-planetas alrededor del núcleo-sol.

La creencia en la similitud del microcosmos y macrocosmos explica también la súbita reaparición de la idea de Pascal no sólo en el pensamiento de Fournier d'Albe, sino también en el del filósofo que menos se podía esperar. En el último diálogo con Lucien Price sólo unas semanas antes de su muerte, Alfred North Whitehead expresó una idea idéntica a la de Pascal y Fournier d'Albe:

> «Por lo que la ciencia ha descubierto acerca de lo infinitamente pequeño y lo infinitamente vasto, el tamaño de nuestros cuerpos es casi por completo insignificante. En este pequeño soporte de caoba —lo tocó con la mano— puede que haya civilizaciones tan complejas y diversas en escala como la nuestra; y allá arriba, puede que los cielos, con toda su inmensidad, sean solamente una diminuta hilacha de tejido del cuer-

[36] JOHN TYNDALL, *Lectures on Light* (Nueva York, Appleton, 1873), p. 34.

po de un ser en la escala de la que todos nuestros universos son como una nonada»[37].

Es ciertamente asombroso observar que el pensador que tan enfáticamente acentuaba que «la realidad es irremediablemente atómica»[38] vuelve a hundirse en la visión pascaliana del universo infinitamente divisible. En este respecto, Jonathan Swift, el inventor de Gulliver y sus ficticias aventuras en Liliput y Brobdingnag, tomó su propio tema menos en serio que el filósofo dos siglos más tarde:

> De esta manera, observan los naturalistas que una pulga
> Tiene pequeñas pulgas que en ella hacen presa;
> Y éstas tienen otras más pequeñas todavía que las pican,
> Y así proceden *ad infinitum*[39].

Aquí al menos se puede distinguir con claridad una nota subyacente de ironía que no está demasiado lejos del escepticismo.

Pero Leibniz, que era mayor que Swift aun siendo contemporáneo de éste, no encontraba nada extraño ni divertido en la continua subdivisión del espacio; por el contrario, consideraba que cualquier interrupción de este proceso era simple resultado de nuestra fatiga mental[40]. Su repulsa de la divisibilidad finita de la materia le condujo a su propio concepto de la mónada: la verdadera indivisibilidad sólo puede pertenecer a entidades semejantes a puntos sin extensión. La correlación entre la indivisibilidad infinita del espacio y la materia y la afirmación de los puntos sin extensión apenas se puede ver en otro sistema con mayor claridad que en el sistema de Leibniz; aquí se hallaba la principal fuente de inspiración para el joven Russell. En el capítulo IV demostraremos que, aunque los físicos en general no seguían a Leibniz en su repulsa del atomismo físico, ninguno de ellos se opuso nunca a la divisibilidad infinita del espacio ni al principio de la relatividad de la magnitud. La idea de que la estructura del universo se repite, por decirlo así, un infinito número de veces tal vez, a diferentes niveles de magnitud, está mu-

---

[37] *Dialogues of Alfred North Whitehead as Recorded by Lucien Price* (Boston, Little Brown, 1954), pp. 367-368.

[38] *Process and Reality* (Nueva York, Macmillan, 1930), p. 95: "La continuidad se refiere a lo que es potencial, mientras que la realidad es irremediablemente atómica".

[39] JONATHAN SWIFT, *On Poetry, a Rhapsody*. Citado por Karl Pearson, *The Grammar of Science* (Everyman's Library, 1949), p. 212.

[40] *The Leibniz-Clarke Correspondence*, la posdata a la cuarta carta de Leibniz.

cho más cerca de las preferencias subconscientes de nuestra imaginación que lo que deseamos reconocer; el caso de Whitehead, que hemos referido con anterioridad, demuestra qué fuerte tentación es «el tema de Gulliver» incluso para un pensador intensamente consciente de la diferencia entre la física clásica y la moderna.

El carácter euclidiano del espacio y su tridimensionalidad.

Como veremos, el principio de la relatividad de la magnitud está relacionado con el carácter euclidiano del espacio. La naturaleza euclidiana del espacio, así como su tridimensionalidad, fueron tácitamente supuestas hasta hace poco. El propio término «espacio euclidiano» apenas se utilizaba antes de emerger en las mentes de los matemáticos del siglo XIX las primeras dudas acerca del quinto postulado de Euclides.

Las geometrías no euclidianas, basadas en la negativa de este postulado, demostraban la posibilidad lógica de otros «espacios» en que no eran válidas algunas proposiciones de la geometría clásica. Así se demostraba, por ejemplo, que la infinidad y la carencia de límites del espacio son facetas lógicamente separables: la superficie de la esfera y de su réplica tridimensional es finita, aunque carece de límites. Pero generalmente se suponía que las geometrías no euclidianas, a pesar de la falta de contradicción intrínseca, no tienen réplicas físicas, siendo meramente creaciones libres de la imaginación matemática. La misma actitud se adoptaba generalmente hacia las geometrías de cuatro o más dimensiones; con anterioridad al advenimiento de la física moderna, su principal uso pseudofilosófico era para la justificación de los fenómenos ocultistas. Se creía que el espacio físico real carecía de curvatura y era tridimensional.

Se debatía mucho la cuestión de cómo se hallan lógicamente relacionadas estas dos últimas facetas con la homogeneidad del espacio. La continuidad del espacio está implícita en el primer postulado de Euclides, que requiere la posibilidad de trazar una línea recta entre dos puntos *cualesquiera;* la carencia de límites del espacio está implícita en el segundo postulado, según el cual siempre es posible extender un segmento recto finito. Thomas L. Heath observó en su comentario sobre Euclides que el tercer

postulado, que elimina toda restricción sobre el tamaño del círculo, requiere tanto la continuidad como la infinidad del espacio, mientras que el cuarto postulado, afirmando la igualdad de todos los ángulos rectos, es una consecuencia del *principio de la invariabilidad de las figuras*, que de nuevo equivale a la homogeneidad del espacio [41]. (El axioma de la invariabilidad de las figuras, denominado por Russell *el axioma de la libre movilidad*, afirma que las figuras geométricas no se ven afectadas por un cambio de sus posiciones; esto se deduce de la relatividad de la posición que, como expusimos con anterioridad, es únicamente otro aspecto de la homogeneidad del espacio.) El quinto y más famoso postulado, como ya lo reconoció Wallis, puede ser sustituido por su equivalente lógico, que admite la posibilidad de construir *figuras similares en cualquier escala de magnitud* [42]. Este es el *principio de la relatividad de la magnitud*, que, como demostramos anteriormente, también se deduce de la homogeneidad del espacio. El último postulado es válido *únicamente* dentro de la geometría euclidiana; su gran importancia en la física, reconocida incluso por Laplace, se hace evidente si observamos que sólo en virtud de su validez pueden construirse modelos concretos del universo extragaláctico o del universo en su totalidad. Subyace en la idea de Pascal acerca de la identidad estructural del universo a diferentes niveles de magnitud. Así parece que los cinco postulados clásicos de Euclides expresan varios aspectos y consecuencias de una faceta fundamental: la homogeneidad del espacio.

Los espacios no euclidianos no son generalmente homogéneos, e incluso los que tienen curvatura constante no son homogéneos en el sentido expuesto con anterioridad; pues mientras se caracterizan por la relatividad de la posición, el principio de la relatividad de la magnitud no es válido para ellos. Se propuso el término *isogeneidad* para tales tipos de estructura espacial, para distinguirlos de la verdadera homogeneidad del espacio euclidiano [43]. Este último requiere la relatividad tanto de la posición *como* de la magnitud; requiere que la estructura del espacio sea cualitativamente idéntica sin importar dónde ni cuán lejos vayamos, *ni tampoco* qué escala de magnitud consideremos.

---

[41] T. L. Heath, *The Thirteen Books of Euclid's Element* (Nueva York, Dover, 1956), pp. 199-200.

[42] Heath, *op. cit.*, pp. 210-211.

[43] El término fue propuesto por el filósofo belga Joseph Delboeuf. (B. Russell, *An Essay on the Foundations of Geometry*, p. 110.)

Esta única faceta era la principal razón por la que el espacio euclidiano era preferido por algunos filósofos y matemáticos en fecha tan reciente como la de principios de este siglo; pues mientras era cierto que los descubrimientos teóricos de Riemann y Lobachevski demostraban que el espacio *en general* no tiene que ser euclidiano, por otra parte enfocaban plenamente la única faceta del espacio euclidiano: su homogeneidad en el sentido que ya hemos definido [44]. El espacio verdaderamente homogéneo *tiene* que ser del tipo de Euclides. Parecía como si la unidad de la naturaleza apenas pudiese hallar una expresión más completa y más consistente que en la unidad del espacio clásico.

La tarea de relacionar el carácter tridimensional del espacio con su homogeneidad resultó ser mucho más ardua, y los intentos estuvieron lejos de ser venturosos. Estos intentos fueron de diferentes tipos y de valor muy desigual. Algunos de ellos —los de Schelling y Hegel— son tan grotescos y tan poco convincentes como la búsqueda por algunos eruditos medievales de una explicación racional de por qué había de ser exactamente tres el número de las personas divinas; otros, más inteligentes y más interesantes, poseen cierta plausibilidad a primera vista, pero suelen ser criticados por ocultar *petitio principii* [45]. Está fuera del alcance de este capítulo extendernos sobre estas pruebas y críticas; si las mencionamos es para demostrar cuán fuerte era el impulso de buscar la pista de *todas* las diversas facetas del espacio en un solo atributo fundamental. Este inconsciente eleaticismo entre los filósofos y científicos es mucho más fuerte que lo que generalmente se reconoce y era especialmente fuerte en la doctrina clásica del espacio. El esfuerzo fue sorprendentemente venturoso;

---

[44] Por ejemplo, en la crítica de LOUIS COUTURAT sobre el *Essay* de RUSSELL, en *Revue de métaphysique et de morale*, vol. VI (1898), pp. 334-380, especialmente su parte final.

[45] Sobre Schelling y Hegel: E. MEYERSON, *De l'explication dans les sciences* (París, 1921), vol. II, p. 145, nota. El intento de LOTZE en su *Metaphysic*, p. 135, fue criticado por RUSSELL *(Essay*, pp. 105-107), y el de NATORP en su *Logische Grundlagen der exakten Naturwissenschaften* (Leipzig, 1910), por MAX JAMMER *(Concepts of Space*, p. 178). Por otra parte, los intentos de KANT y POINCARÉ pertenecen a una categoría distinta, porque ambos trataron de justificar la tridimensionalidad del espacio mediante alguna faceta empírica del mundo físico; KANT, mediante la ley de la gravitación; POINCARÉ, mediante nuestra organización psicofisiológica, que él consideraba como resultado de la adaptación evolucionista al orden de la Naturaleza. Compárese KANT, "Thoughts on the True Constitution of Living Forces", en *Kant's Inaugural Dissertation and Early Writings*, traducidos por J. Handyside (Chicago, 1939); H. POINCARÉ, *Dernières pensées* (París, 1913), pp. 55-98.

con la única excepción del número de dimensiones, *todas* las facetas del espacio clásico euclidiano se deducían de su homogeneidad: su independencia del contenido físico, su infinidad y continuidad, la relatividad de la posición y la magnitud, su inacción causal y su inmutabilidad.

La inacción causal del espacio.

«Inacción causal» e «inmutabilidad» requieren unas cuantas palabras adicionales, aunque su significado esté implícito en las páginas precedentes. La inacción causal o *pasividad* del espacio niega que el lugar o cambio de lugar pueda tener efecto causal; ya en el siglo XVII, Gilbert, en una consciente oposición a Aristóteles, había observado:

> Sed non locus in natura quicquam potest: locus nihil est, non existit, vim non habet; potestas omnis in corporibus ipsis. Non enim Luna movetur, nec Mercurii, aut Veneris stella, propter locum aliquem in mundo, nec stellae fixae quietae manent propter locum * [46].

Todos los efectos físicos sobre los cuerpos deben localizarse en los *propios* cuerpos o, más generalmente, en el material que se halla presente *en* el espacio. El espacio no es más que un recipiente inerte de cosas completamente indiferentes a todos los cambios; inmutable en sí, no causa tampoco cambio alguno. Volveremos a este punto cuando tratemos de la dinámica clásica; entonces veremos que un mantenimiento completamente consistente de la inacción causal del espacio no era posible, ni siquiera dentro de la estructura clásica, pues el espacio parecía ser indiferente sólo a algunos tipos de movimiento, pero no a *todos* ellos.

En cuanto a la inmutabilidad del espacio, se deducía automáticamente de la hipótesis de que todos los cambios se han de buscar en los cuerpos que hay dentro del espacio y ninguno en el *receptáculo* espacial propiamente dicho. ¿También se deduce esto de la homogeneidad del espacio? Hoy sabemos que *no;* si suponemos, por ejemplo, un espacio esférico vacío que se dilata uni-

---

(*) Pero la posición no puede tener efecto en la naturaleza. La posición no es nada; no existe; todo poder reside en los propios cuerpos. Ni Venus, ni Mercurio, ni la Luna se mueven a causa de su posición en el mundo, ni las estrellas fijas permanecen en reposo a causa de su posición.

[46] W. Gilbert, *op. cit.*, p. 144.

formemente en todas las direcciones, tendríamos un ejemplo de espacio que es en todos los instantes perfectamente homogéneo en todas sus partes mientras cambia. Por tanto, la inmutabilidad del espacio no se puede derivar de su homogeneidad a menos que ésta también se entienda tácitamente como homogeneidad *en el tiempo* y no simplemente como homogeneidad de partes simultáneas del espacio; pues el cambio del espacio implicaría *heterogeneidad en el tiempo*. Sin embargo, precisamente este más amplio sentido de la *identidad a través del tiempo* se suponía tácita o incluso explícitamente cuando se hablaba de la homogeneidad del espacio. La idea opuesta parecía tan absurda que muy rara vez fue rechazada explícitamente. Cuando el matemático francés Calinon vislumbró proféticamente la posibilidad del *espacio constante variando con el tiempo,* fue rápidamente increpado por el joven Bertrand Russell:

> Esto implicaría una conexión causal entre el espacio y otras cosas, que parece apenas concebible, y que, si la consideramos como posible, de seguro que debe destruir la geometría, puesto que la geometría depende enteramente de la insignificancia de la causación. Además, en todas las operaciones de medición se invierte algún tiempo; a menos que supiésemos que el espacio es inmutable durante toda la operación, es difícil ver cómo podrían ser fidedignos nuestros resultados, y cómo podría ser descubierto, por consiguiente, un cambio en el parámetro. En realidad, surgirían las mismas dificultades que las que resultan de suponer que el espacio no es homogéneo[47].

El pasaje demuestra cuán íntimamente se hallaban relacionadas la inacción y la inmutabilidad del espacio en la mente de Russell, cuya idea en este respecto era representativa de la ciencia clásica. Se hacía una definida hipótesis acerca de la relación del espacio con el tiempo; aunque esta referencia al tiempo era más bien negativa —considerándose el espacio como absolutamente independiente del tiempo—, tenía un inmenso significado, cuya importancia no apareció claramente hasta hace poco. La independencia del espacio con respecto al tiempo es únicamente otro término para la *rigidez de la estructura espacial.* El pleno significado de esta última faceta del espacio clásico aparecerá más claramente en conexión con los conceptos de tiempo y movimiento clásicos.

---

[47] B. Russell, *Essay,* pp. 112-113.

CAPITULO TERCERO

El concepto de tiempo

LA INDEPENDENCIA DEL TIEMPO RESPECTO DE SU CONTENIDO FÍSICO.

El tiempo es el segundo concepto fundamental de la física clásica. Mientras que el espacio se definía como agregado tridimensional de términos homogéneos coexistentes, el tiempo se consideraba como agregado de una sola dimensión de términos sucesivos. La relación básica en el espacio es la yuxtaposición; la relación básica en el tiempo es la *sucesión*. Los puntos del espacio están *al lado* unos de otros; los instantes del tiempo *se siguen* unos a otros. Teniendo en cuenta esta diferencia fundamental, también podemos aplicar al tiempo una gran parte de lo que acabamos de decir acerca del espacio. Tanto el espacio como el tiempo eran considerados como especies de agregado, y se creía que ambos compartían la propiedad de ser homogéneos. Como en el caso del espacio, los atributos básicos del tiempo se deducían de su homogeneidad: su independencia de su contenido físico, su infinidad, continuidad y uniformidad. La uniformidad del tiempo era una réplica de la inmutabilidad del espacio; de una manera más expresiva se la podría denominar *fluidez uniforme*. Así es natural que los principios de la relatividad de la magnitud y de la posición tengan sus réplicas en la doctrina del tiempo clásico.

De nuevo formuló explícitamente Newton la independencia del tiempo con respecto a los cambios concretos que tienen lugar en él:

El tiempo verdadero y matemático absoluto, de por sí y por su propia naturaleza, fluye uniformemente, sin consideración a ninguna cosa externa. También se llama *duración*. El tiempo relativo, aparente y vulgar es cierta sensible y externa medida de tiempo absoluto (duración), estimada por los movimientos de los cuerpos, ya exacta o des-

igual, y comúnmente se utiliza en vez de tiempo verdadero; tal como una hora, un día, un mes, una semana [1].

Según esta teoría, el tiempo fluye, cambie o no alguna cosa; en la propia naturaleza el tiempo está *vacío* y es solamente una ví accesoria y contingente llena de cambios. Los cambios están *en* el tiempo; no son el *tiempo* en sí. Esta distinción entre el tiempo y la transformación concreta se halla en los propios cimientos de la física clásica. Lo mismo que el espacio no implica materia, el tiempo no implica movimiento ni cambio en general. Esto lo había manifestado claramente Isaac Barrow, maestro y predecesor de Newton, cuya influencia sobre la formación del concepto de Newton acerca del tiempo fue tan importante como la influencia ejercida por Henry More sobre la idea de Newton acerca del espacio:

Pero ¿implica movimiento el tiempo? De ninguna manera, replico, en cuanto se refiere a su naturaleza absoluta, intrínseca; no más que el reposo; la cantidad de tiempo no depende de uno ni de otro esencialmente; corran o estén quietas las cosas, estemos dormidos o despiertos, el tiempo fluye en su carrera uniforme. Imaginemos que todas las estrellas han permanecido fijas desde su nacimiento; nada se habría perdido para el tiempo; esa quietud habría durado tanto como se ha continuado el curso de este movimiento. Antes, después, al mismo tiempo (en cuanto se refiere al nacimiento y desaparición de las cosas), incluso en ese tranquilo estado, habrían tenido su propia existencia, y habrían podido ser percibidas por una mente más perfecta [2].

Esto apenas se podría exponer más explícitamente.

Básicamente, se utilizaba todavía el mismo argumento a principios de este siglo. Cuando Bertrand Russell en 1901 defendió la teoría absoluta del tiempo empezó defendiendo la distinción fundamental entre la serie temporal en sí y su contenido cualitativo:

En la teoría absoluta tenemos dos clases de entidades: 1) las que *son* posiciones; 2) las que *tienen* posiciones. Dos términos cualesquiera de la primera clase tienen una relación transitiva asimétrica; en el presente caso, o *antes* o *después*. Los términos que tienen posiciones son

---

[1] I. NEWTON, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, escolio I.

[2] *Mathematical Works of Isaac Barrow D. D.*, edición Whewell (Cambridge, 1860), vol. II, pp. 160 y sig. En cuanto a la influencia de Barrow sobre Newton: E. A. BURTT, *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, pp. 144 y sigs.; G. WINDRED, "The History of Mathematical Time", *Isis*, vol. XIX (1933), especialmente pp. 126-138.

términos de los que cada uno tiene, con uno o más de los términos que son posiciones, cierta relación específica, que se puede expresar diciendo que los nuevos términos están *en* las posiciones, o que ocupan las posiciones. ... Podemos denominar a las *cualidades* los términos que tienen posiciones en el tiempo; así la cualidad puede existir en muchos momentos, o incluso en todos los momentos[3].

El argumento es más general y el lenguaje es evidente más abstruso que el de Barrow; pero su substancia es la misma. Barrow trató de demostrar que la ausencia de movimiento no impide que fluya el tiempo; Russell dio al argumento una forma más general señalando que ninguna ausencia de *cualquier* cambio (no sólo de cambio de posición) afecta al flujo del tiempo; cierta cualidad puede durar a través de *muchos* momentos o incluso a través de *todos* los momentos. Barrow y Russell tenían un blanco idéntico hacia el cual apuntaban: la teoría relacional del tiempo. La distinción de Russell entre «cualidades» y «momentos» es equivalente a la afirmación de que el contenido físico del tiempo no se deriva del tiempo en sí, lo mismo que la materia no se deriva del espacio. Lo que Russell dijo acerca del espacio se puede repetir palabra por palabra acerca del tiempo: «No hay ninguna implicación lógica de otras entidades en [el tiempo]. Meramente porque hay [tiempo], no se deduce, por consiguiente, que hay cosas en él». Porque el concepto de materia así como el de movimiento no pueden derivarse lógicamente de los conceptos de espacio y tiempo respectivamente, debemos reconocer que ambos son indefinibles:

El análisis no puede explicar lo que se entiende por *ocupar* un punto o un instante; ésta es una relación fundamental, expresada por la preposición *en*, asimétrica e intransitiva, indefinible y simple[4].

Esto significa que el tiempo —si no *de facto*, al menos *de iure*— está vacío.

El uso del término *ocupación* para el espacio y el tiempo es característico de todo el pensamiento clásico. El propio término es claramente espacial en su significado original, y su empleo sugiere la íntima analogía entre el espacio y el tiempo en que tan firmemente creía la física clásica, así como la filosofía clásica. Lo

---

[3] B. RUSSELL, "Is Position in Space Absolute or Relative?", *Mind*, vol. X (1901), p. 294.

[4] B. RUSSELL, *The Principles of Mathematics*, p. 465.

mismo que la materia *llena* u *ocupa* porciones de espacio, así los movimientos o, más generalmente, los cambios *llenan* u *ocupan* porciones de tiempo. Lo mismo que el espacio es recipiente de toda la materia, así el tiempo es receptáculo de todos los cambios o, con palabras de Barrow, «el Tiempo es en cierto modo el Espacio del Movimiento» [5]. Este era el dogma básico de la ciencia clásica.

La influencia de la idea newtoniana acerca del tiempo era mucho más profunda que lo que generalmente se cree, pues iba más allá de los límites de la ciencia física. En el pensamiento de Kant, por ejemplo, el tiempo era considerado también como una especie de marco o recipiente homogéneo que se llena desde fuera por el variable material de sensaciones. Es cierto que para Kant el tiempo no poseía realidad extramental, siendo solamente una forma de intuición *a priori;* pero no altera el hecho de ser de naturaleza esencialmente newtoniana la aguda distinción entre un recipiente homogéneo inmutable y un contenido variable y heterogéneo. En este respecto, podemos hablar de cierto *isoformismo* entre el pensamiento de Kant y Newton. Incluso hoy apenas nos hallamos conscientes de que, cuando hablamos de nuestros estados psicológicos como ocurriendo *en* el tiempo, retenemos esta distinción entre el recipiente y su contenido, la distinción que bajo el doble impacto de Newton y Kant domina todavía en gran manera nuestro modo de pensar.

La homogeneidad del tiempo y sus consecuencias.

La independencia del tiempo respecto de su contenido es una consecuencia directa de su *homogeneidad.* Los cambios concretos son o parecen ser heterogéneos. El cambio cualitativo es una de las más sorprendentes facetas de nuestra particular corriente de conciencia y parece estar presente incluso en el mundo público de la física. Pero aun si aceptamos la reducción de todos los cambios cualitativos en el mundo físico a *cambios de posición* únicamente, como propone el esquema cinético-corpuscular de la naturaleza, no desaparece por completo la faceta de la heterogeneidad; queda reducida a un grado mínimo y aparentemente inocuo,

[5] Barrow, *loc. cit.,* Conferencia X ("On Space and Impenetrability"); citado por G. Windred, *op. cit.,* p. 130.

pero, no obstante, se halla presente. Las configuraciones sucesivas de las partículas siguen siendo todavía *diferentes*, aun cuando las propias partículas y el espacio subyacente siguen siendo idénticos. Y tenemos que añadir que la extensión de tiempo que subyace en estas configuraciones sucesivas es tan indiferente al cambio como el espacio y la cantidad de materia implicada.

En otras palabras, mientras que los momentos sucesivos de la transformación física son diferentes, si no en cualidad, al menos en sus aspectos geométricos y dinámicos, los instantes sucesivos del verdadero tiempo matemático carecen de otra diferenciación que la que resulta de su sucesión. En cuanto se refiere a su cualidad, los instantes temporales son *perfectamente equivalentes;* sus únicas facetas diferenciadoras se deben a sus *diferentes posiciones* en la serie temporal. Cuando Kant declaró que la distinción entre dos momentos consecutivos es *básicamente diferente* de cualquier otra diferenciación puramente cualitativa y empíricamente conocida, simplemente codificaba la anterioridad lógica del tiempo con respecto al cambio, según Newton. Sólo la independencia del tiempo con respecto al cambio hace que sea posible hablar de diferentes momentos de duración cuando no parece producirse ningún cambio real; como cuando, por ejemplo, un cuerpo retiene su posición sin cambio alguno a través del tiempo, o cuando cierta cualidad psicológica persiste a través de cierto intervalo de tiempo. Cuando hablamos de la posibilidad del retorno de una cualidad psicológica idéntica en la corriente de nuestra experiencia particular, implícitamente suponemos que, a pesar de la identidad cualitativa del contenido, los dos momentos correspondientes, el momento de la experiencia original y el de su repetición, son precisamente *dos*, o sea, *diferentes*, no a causa de la diferencia en cualidad, sino a causa de su sucesión. Lo mismo que la relación de yuxtaposición hace que sea posible distinguir dos entidades cualitativamente idénticas y simultáneamente existentes, así la relación de sucesión hace que sea posible distinguir dos estados cualitativamente idénticos de una sola e idéntica entidad. En este sentido, el tiempo es análogo al espacio en ser un *principio de diferenciación de un género distinto al cualitativo* [6].

La infinidad y continuidad del tiempo se deducen natural-

[6] Estas son las palabras de Bergson acerca del espacio, pero se aplican también al tiempo clásico; de aquí la afirmación de Bergson acerca de que el tiempo matemático es meramente un espacio disfrazado.

mente de su homogeneidad. La infinidad del tiempo implica ausencia de todo momento inicial en el pasado o de todo momento final en el futuro; pues tales momentos poseerían un carácter privilegiado que sería totalmente incompatible con la homogeneidad del tiempo. Si el tiempo es verdaderamente homogéneo, *todo* instante debe tener sus antecesores y sucesores; por consiguiente, el concepto del Primer Momento que no tuvo predecesor o el del Ultimo Fin que no tendrá sucesores es totalmente inconcebible.

La infinidad del tiempo se impuso en las mentes de los físicos clásicos con tanto vigor como la infinidad del espacio. La hipótesis del principio temporal del mundo se debió mayormente a motivos extracientíficos, especialmente teológicos; y aún así, fue a veces considerado como principio *en* tiempo, no *de* tiempo. La lógica inherente en la filosofía de Barrow, More, Gassendi, Newton y Clarke requería la existencia del tiempo aun *antes* de la creación del mundo, o sea, la existencia de la duración sin principio, falta de todo contenido físico hasta la fecha de la creación [7]. Para todos estos pensadores, excepto para Gassendi, esta duración sin principio y físicamente vacía era considerada como atributo de Dios, siendo una adecuada manifestación de la naturaleza divina eternamente duradera, pues el espacio absoluto era una expresión de su presencia, que todo lo penetra. Pero de nuevo se debe acentuar que fue el carácter absoluto del tiempo el que condujo a su divinización más bien que viceversa; Newton y Clarke expusieron simplemente en lenguaje religioso el convencimiento científico de todo el período clásico.

La continuidad matemática del tiempo se deduce con igual fuerza lógica de su homogeneidad. El pasaje de la *Crítica de la*

---

[7] La creencia de Gassendi en la existencia del tiempo con anterioridad a la creación del mundo está implícita en su creencia sobre la eternidad del espacio (compárese cap. II de este libro, nota 10). Según los *Eléments de la philosophie de Newton (Oeuvres complètes*, París, 1879, vol. XIII, p. 410), de Voltaire, Newton conocía y admiraba las ideas de Gassendi, cuya influencia sobre él era así muy probable. Aún más evidente es la influencia de I. Barrow y H. More. La afirmación de San Agustín: "Non in tempore, sed cum tempore finxit Deus mundum", fue criticada por Barrow (Windred, *op. cit.*, p. 134), mientras que More afirmaba contra Descartes que el tiempo persistiría aun si fuese aniquilado el mundo entero. A. Koyré señala que el argumento de More es una nueva exposición del argumento de Plotino contra Aristóteles (Koyré, *op. cit.*, pp. 120-121, 290). Es así evidente que las raíces del conflicto entre la teoría absolutista y la relativa del tiempo se hallan en la filosofía griega. La disputa continuaba en la famosa controversia Leibniz-Clarke, en la que Clarke defendía la teoría absolutista y, por consiguiente, la existencia del tiempo con anterioridad al principio del universo.

razón pura de Kant, citado en el capítulo II, afirma la divisibilidad infinita del tiempo, así como del espacio. Por estrecho que sea el intervalo temporal, sus límites permanecen siempre en la relación de sucesión, siendo anterior aquél y posterior ésta. El tiempo fluye incluso dentro de sus más pequeños intervalos, porque hablando estrictamente, *no existen intervalos más pequeños*. Afirmar lo contrario supondría la admisión de los «átomos del tiempo», o sea, intervalos en que se paralizaría el curso temporal, pues no existiría posibilidad de distinguir dentro de tales intervalos otros momentos sucesivos. La estructura atómica del tiempo es así una contradicción de términos, porque termina con la conclusión evidentemente contradictoria de que existen intervalos de tiempo que *no* son temporales. La divisibilidad del tiempo no tiene límites si nos referimos a la serie temporal finita; la única indivisibilidad verdadera pertenece a los instantes sin duración.

Por último, tampoco importa que estos instantes sin duración sean considerados como meros límites ideales, jamás alcanzados realmente en un proceso concreto de división, o como *anteriores* a los intervalos temporales. Esta última idea era sostenida por Russell; la primera, acentuando la anterioridad de los intervalos con respecto a los instantes, era sostenida por Kant (aunque no de manera muy consistente); pero la continuidad del tiempo es aceptada por ambos. Cuando la física clásica, desde los tiempos de Galileo hasta Bertrand Russell, no dejó de insistir en que cada intervalo de tiempo contiene un número realmente infinito de instantes sin duración [8], su motivo nacía de que nuestra imaginación se negaba a concebir un límite a la divisibilidad del tiempo. Un límite semejante es considerado como arbitrario y, en definitiva, incompatible con la naturaleza del tiempo. Además, parecía estar substanciado por la experiencia el impulso imaginativo a continuar indefinidamente el proceso de subdividir idealmente cualquier extensión de tiempo en sus partes consecutivas. Este importante hecho se debe considerar ahora más por extenso.

---

[8] *Le opere de Galileo Galilei, prima edizione completa*, vol. XIII (Florencia, 1855), p. 158: "in ogni tempo quanto, ancorche picolissimo, sono infiniti instanti"; p. 156: "essendo il tempo subdivisibile in infinito". B. RUSSELL, *Principles of Mathematics*, p. 144: "Decir, por ejemplo, que cierta longitud de tiempo transcurre entre la salida y la puesta del sol, es reconocer un todo infinito, o al menos un todo que no es finito"

LA RELATIVIDAD DE LOS INTERVALOS TEMPORALES.

La homogeneidad del espacio implicaba la relatividad de las magnitudes espaciales; la homogeneidad del tiempo implica de forma análoga la relatividad de los intervalos temporales. Acentuemos de nuevo que esto no tiene nada en común con la moderna teoría de la relatividad ni con la teoría relacional del tiempo. La relatividad de los intervalos temporales simplemente significa que la estructura del *microcronos* debe ser substancialmente la misma que la del *macrocronos*, de igual modo que el microcosmos espacial se asemeja a nuestro mundo de dimensiones medias. Estimamos los intervalos temporales comparándolos con nuestro presente especioso, del mismo modo que calculamos las magnitudes espaciales por el tamaño de nuestros cuerpos o instrumentos de medición.

Por consiguiente, hay una réplica del tema de Gulliver en el reino de las relaciones temporales. Nuestra vida es meramente un relámpago en la vida de la humanidad; por otra parte, nuestro momento más fugaz es una historia enormemente larga en comparación con los sucesos casi instantáneos del mundo microfísico. Por esta razón, resulta una denominación impropia el término «presente psicológico», y fue significativamente sustituido por el término «presente especioso». Este último término indica que lo que solemos llamar «ahora» es únicamente un presente espurio, puesto que el único presente verdadero es un instante matemático sin duración. La totalidad de los instantes anteriores a este presente matemático se denomina «pasado», mientras que la totalidad de todos los instantes que lo siguen se llama «futuro». Según este punto de vista, sólo es verdaderamente real un presente sin duración; tanto el pasado como el futuro son perfectamente simétricos en su propiedad de ser *irreales*. La relación del presente con el pasado, así como con el futuro, es la de *exterioridad absoluta*.

Este es otro aspecto de la divisibilidad infinita del tiempo, que se concebía del mismo modo que la continuidad del espacio. Se consideraba que los instantes sucesivos eran tan discontinuos como los puntos geométricos localizados en una línea recta. Cuando hay un momento presente, han transcurrido *todos* los momentos pasados y aún *no* están presentes los momentos futuros. Esta exterioridad absoluta de momentos sucesivos parecía ser una simple

aplicación de la ley de la contradicción. ¿Cómo podría estar todavía presente el pasado, que, *ex definitione*, ya no existe? Lo que llamamos nuestro momento presente es, en el sentido pleno de la palabra, sólo un *presente especioso;* en realidad, es una *extensión de tiempo* que se compone de dos partes igualmente irreales, de las cuales una *ya no* existe y la otra no existe *todavía.* Toda la realidad se reduce así en un presente puntual que flota entre el pasado desvanecido y el futuro aún por nacer [9].

Sería prematuro considerar aquí todas las enormes dificultades lógicas y epistemológicas que encierra la idea de tiempo anteriormente expuesta. La tarea que ahora nos ocupa es sacar todas las consecuencias de las definiciones clásicas. Ya hemos demostrado que la relatividad de las magnitudes es válida para el espacio y el tiempo. Lo mismo que la estructura del espacio, la del tiempo es idéntica, por pequeños o grandes que sean los intervalos considerados. Von Baer se ha dedicado a ciertos cálculos interesantes con respecto a cuánto cambiaría el aspecto de la naturaleza si cambiara el ritmo de nuestra conciencia:

> Supongamos que, dentro de la longitud de un segundo, somos capaces de observar 10.000 sucesos distintamente, en lugar de escuetamente 10, como ahora; si nuestra vida estuviese entonces destinada a retener el mismo número de impresiones, podría ser 1.000 veces así de corta. Viviríamos menos de un mes, y personalmente no conoceríamos el cambio de las estaciones. Si naciésemos en invierno, creeríamos en el verano como ahora creemos en los calores de la era carbonífera. Los movimientos de los seres orgánicos serían tan lentos a nuestros sentidos que no serían vistos, sino inferidos. El sol se paralizaría en el cielo, la luna quedaría casi libre de cambio, y así sucesivamente. Pero ahora trastoquemos la hipótesis y supongamos que un ser capta solamente una milésima parte de las sensaciones que captamos en un momento dado, y, por consiguiente, que vive 1.000 veces tanto. Los inviernos y los veranos le parecerán cuartos de hora. Las setas y las plantas de más rápido crecimiento cobrarán existencia tan rápidamente que parecerán creaciones instantáneas; los arbustos anuales caerán y surgirán de la tierra como fuentes de agua en inquieta ebullición; los movimientos de los animales serán tan invisibles como son para nosotros las balas de fusil y de cañón; el sol se deslizará por el cielo como un meteoro, dejando tras de sí una cola de fuego, etc. [10].

---

[9] Acerca de la división clásica del tiempo en tres entidades que no lo son, o sea, "presente instantáneo", pasado desvanecido y futuro no existente, véase W. JAMES, *Principles of Psychology* (Nueva York, Holt, 1890), vol. I, p. 609; A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, p. 73. Esta idea se puede descubrir en la *Physica* de Aristóteles, IV, 10.

[10] W. JAMES, *op. cit.*, I, p. 639.

Hoy, por medio de la fotografía ultrarrápida y películas a cámara lenta o acelerada, podemos producir cambios en nuestra perspectiva temporal, lo mismo que podemos modificar nuestra perspectiva espacial por medio del telescopio y el microscopio [11]. Pero por sorprendentes que sean las modificaciones así obtenidas afectan únicamente al *contenido cualitativo* de nuestras percepciones, no a su estructura temporal. Como observó William James, que reprodujo las palabras de Von Baer, «el presente especioso sería de la misma longitud subjetiva que ahora, dándonos la misma sensación temporal» [12]. En realidad, si el ritmo de todos los cambios del mundo se incrementase o se redujese en la misma proporción, no notaríamos ningún cambio en absoluto.

Las películas a cámara lenta y acelerada parecen grotescas sólo porque recordamos el ritmo *normal* de los cambios en cuestión y comparamos nuestros recuerdos con el ritmo modificado de los cambios que acabamos de percibir. Pero cuando esta clásica unidad de medición se halla psicológicamente ausente, no surge ningún sentimiento de extrañeza, ninguna percepción de diferencia en el ritmo temporal. Un incidente que normalmente dura cuatro horas o incluso más se vive subjetivamente en unos cuantos segundos de tiempo público en ciertos sueños y en algunas situaciones en que la muerte parece ser inminente; pero el asombro de que esto fue posible sólo se produce retrospectivamente, cuando la longitud subjetiva se compara con el correspondiente intervalo objetivamente medido por un cronómetro. En la ciencia clásica, es tan disparatado hablar del intervalo temporal absoluto como de la magnitud espacial absoluta.

Este famoso «problema de mundos similares», suscitado primero por Laplace, fue muy discutido a principios del siglo XX por los científicos, a la vez que filósofos franceses, Delboeuf, Lechalas y Poincaré: ¿Existiría alguna apreciable diferencia si las dimensiones de todos los objetos se modificasen en la misma proporción, o si en la misma proporción se modificasen todos los cambios? [13]. Sólo una respuesta era posible: tal cambio hipotético

---

[11] Compárese A. MAGNAN, *Cinématographie jusqu'à 12.000 vues par seconde.* Actualités scientifiques et industrielles, No. 46 (París, 1932).

[12] W. JAMES, *op. cit.*, I, p. 640.

[13] LAPLACE, *The System of the World*, traducido por H. H. Harte (Dublín, 1833), vol. II, pp. 321-2; G. LECHALAS, "Les problèmes des mondes semblables", *Critique philosophique*, IVème année, vol. II (1888), pp. 373-379; el mismo autor, "M. Delboeuf et le problème des mondes semblables", *Revue philosophique*, vol. 37 (1894), pp. 73-78;

seguiría siendo imperceptible. Pero sería un error considerar esta relatividad de las magnitudes espaciales y temporales como anticipación de las ideas relativistas. Por el contrario, este principio, como hemos visto, fortalecía la creencia en el carácter privilegiado del espacio euclidiano, y podría haberse utilizado como argumento para la homogeneidad del tiempo. Sólo el espacio euclidiano admite la posibilidad de construir figuras geométricas en cualquier escala; similarmente, sólo el tiempo homogéneo que fluye uniformemente, simbolizado por la línea recta euclidiana, admite la posibilidad de contraer o dilatar segmentos temporales sin distorsión. Esto significa que, mientras es relativa la longitud del intervalo, permanece constante el *orden de la sucesión*, por pequeñas o grandes que sean las extensiones de tiempo consideradas.

La propia naturaleza parecía proporcionar cada vez más ilustraciones de la relatividad del tamaño temporal. En primer lugar, el presente especioso, como hemos indicado ya, puede variar curiosamente incluso dentro de un individuo humano en particular:

> En la embriaguez de haxix existe un curioso incremento de la aparente perspectiva temporal. Pronunciamos una oración, y antes de llegar al final ya parece que el principio data de un pasado indefinidamente largo. Entramos en una calle corta, y es como si nunca llegásemos al final de ella. Es posible concebir que esta alteración podría resultar de un acceso a la condición de los seres de corta vida de Von Baer y de Herbert Spencer [14].

James se refiere aquí al pasaje de Von Baer citado anteriormente y a un pasaje de los *Principles of Psychology* de Spencer, en el que Spencer llega a la conclusión de que, si hay alguna conciencia rudimentaria en los mosquitos, debe ser de un espacio temporal enormemente más breve que en el hombre o en los mamíferos superiores en general [15]. Así parece que la longitud del presente especioso, variable dentro de la especie humana, varía incomparablemente más dentro de todo el reino animal.

La física, especialmente la microfísica, ha proporcionado ilustraciones aún más convincentes del principio de la relatividad de los intervalos. El descubrimiento del microcosmos pareció abrir

---

H. Poincaré, *Science et méthode* (París, 1909), p. 96. Otras referencias en el artículo ya citado de P. M. Schuhl (compárese nota 30 del cap. II de este libro).

[14] James, *op. cit.*, vol. I, pp. 639-640.

[15] H. Spencer, *The Principles of Psychology* (Nueva York, Appleton, 1897), vol. I, §§ 90-91, pp. 211-219.

una vista ilimitada no sólo a volúmenes de espacio cada vez más pequeños, sino también a intervalos de tiempo cada vez más cortos. Cuando la medición de las longitudes de ondas de diferentes colores hizo posible el cómputo de las frecuencias luminosas correspondientes, se adquirió una idea concreta de la extremada pequeñez de ciertos intervalos temporales. Cuatrocientos trillones de «vibraciones etéreas» —si utilizamos el lenguaje de la física clásica— son necesarias para ocupar un solo segundo. Y esto es únicamente cierto con respecto al rojo extremo del espectro visible, o sea, con respecto a sus vibraciones más lentas; la frecuencia se incrementa de manera correspondiente en las ondas más cortas. En la extremidad violeta de los espectros alcanza 750 trillones por segundo, y en cuanto a las longitudes de ondas más cortas, sigue incrementándose en la porción ultravioleta invisible. En los rayos gamma la duración de una sola «vibración etérea» es del orden de 10^{-20} segundo.

Pero, por inconcebibles que fuesen estos diminutos intervalos de tiempo, no constituían ninguna sorpresa para los científicos clásicos; por el contrario, los físicos se habrían asombrado si se hubiese descubierto algún límite definido en la divisibilidad del tiempo. Sus mentes, condicionadas durante dos siglos por el cálculo infinitesimal, les condujeron a la esperanza de *no* hallar un último intervalo indivisible; la verdadera indivisibilidad debe pertenecer únicamente a los instantes sin duración. En cuanto a los intervalos finitos, el proceso de subdividirlos idealmente en subintervalos cada vez más pequeños se puede continuar *ad infinitum*, y, por consiguiente, no nos debemos sorprender de hallar evidencia empírica en cuanto a la existencia de subacontecimientos cada vez más cortos en la naturaleza. Realmente parecía como si la naturaleza diera su conformidad a las «anticipaciones de percepción» de Kant, como si la idea del juguete chino se aplicase tanto al espacio como al tiempo, como si el tema de «mundos dentro de mundos» en el reino de las magnitudes espaciales tuviese su réplica en uno de «historias dentro de historias» en el reino de los intervalos temporales, sin ningún fin del retorno infinito a la vista. Los cómputos de Fournier d'Albe son más fantásticos que la idea de Pascal acerca de dos infinidades; únicamente son aplicaciones lógicas del principio de la relatividad de la magnitud. Según Fournier d'Albe, los infrahombres hipotéticos, que habitan la superficie de los electrones, experimentarían un presente especioso igual a 10^{-22} segundo; para ellos, los electrones-planetas

parecerían girar por el espacio con un movimiento tan perezoso como el de los planetas a los ojos del observador terrestre; su sistema microsolar parecería tan fijo al infrahombre como el sistema solar nos parece a nosotros; se sucederían innumerables generaciones antes de ocurrir un disturbio externo, producido por el paso de otro microcosmos [16].

Esto parecerá menos fantástico si recordamos la idea de Kelvin sobre la aplicación de los métodos estadísticos utilizados en la teoría cinética de los gases al movimiento de las estrellas en la Vía Láctea:

> Consideremos ahora la Vía Láctea; allí vemos también un innumerable polvo; sólo que las partículas de este polvo no son átomos, sino estrellas; estas partículas se mueven también con altas velocidades; actúan a distancia unas sobre otras, pero esta acción es tan ligera a gran distancia que sus trayectorias son rectas; y, sin embargo, de vez en cuando, dos de ellas pueden aproximarse lo suficiente para desviarse de su camino, como un cometa que hubiese pasado demasiado cerca de Júpiter. En una palabra, *a los ojos de un gigante, para quien nuestros soles serían como para nosotros nuestros átomos, la Vía Láctea parecería solamente una burbuja de gas* [17]. (Hemos añadido la cursiva.)

Aquí vuelve a estar presente el mismo tema, expresando el mismo convencimiento acerca de la identidad básica del microcosmos y el macrocosmos, del microcronos y el macrocronos. En cuanto a los capítulos que siguen, es importante observar que este convencimiento nace de la creencia en la homogeneidad del espacio y el tiempo.

La fluidez uniforme y la inacción causal del tiempo.

¿No se ve justificada la teoría relacional del tiempo por las precedentes consideraciones? Pues si no resultaría ninguna diferencia observable si se modificase el ritmo de todos los cambios o movimientos, ¿es todavía posible asignar un significado definido a la uniformidad del curso temporal? ¿Dónde está la garantía de que no tiene realmente lugar esta uniforme aceleración o retardación del movimiento?

---

[16] Fournier d'Albe, *Two New Worlds* (Londres, 1907), pp. 10-12 y 47.

[17] H. Poincaré, *op. cit.*, traducción inglesa de G. B. Halsted en *The Foundations of Science* (Lancaster, Science Press, 1913), p. 524.

Es cierto que la teoría relacional del tiempo se puede descubrir en los propios albores de la física clásica; mucho antes de Leibniz y Berkeley la esbozó Giordano Bruno, y se puede hallar una de sus primeras anticipaciones en el pasaje de Lucrecio frecuentemente citado, según el cual «el tiempo no es nada de por sí». Pronto veremos que había algunas importantes razones filosóficas e incluso científicas, al parecer, para no asignar al tiempo el mismo *status* ontológico que al espacio. Ciertamente era significativo y no accidental que Spinoza, un contemporáneo filosófico de Newton, incluyera el espacio, *pero no el tiempo*, entre los atributos de la última realidad. Pero estas dudas acerca del *status* ontológico del tiempo fueron expresadas principalmente por filósofos o científicos de mentalidad filosófica, algunos de los cuales suscitaron cuestiones similares con respecto al *status* del espacio; la realidad fenoménica del espacio y el tiempo nunca se ha puesto en duda.

Por tanto, no han de confundirse tales dudas con las dudas acerca de la uniformidad del curso temporal, que ciertamente no aparecieron antes del pasado siglo. Había varias razones por las que aparecieron tan tarde y por las que, al parecer, fueron desechadas. En primer lugar, ¿por qué suponer una hipótesis perfectamente inútil, que por su propia naturaleza es improbable? Todas las apariencias siguen siendo idénticas, bien si suponemos un tipo de tiempo constante o uno arbitrariamente variable, y siempre parecía lógica y estéticamente más sencillo suponer la constancia en lugar de la variabilidad. Es cierto que tampoco se puede hallar ninguna evidencia empírica para la uniformidad del curso temporal, pero esta inaccesibilidad del tiempo a la observación empírica directa era considerada como una prueba adicional de su carácter absoluto y casi divino. Más tarde los neokantianos utilizaron la imperceptibilidad del espacio y el tiempo como argumento para su único *status* epistemológico: no son objetos de experiencia, sino «condiciones trascendentales» que hace posible la experiencia; pero, por último, se pensaba que sus argumentos justificaban las afirmaciones absolutistas de la física newtoniana [18].

La razón por la que era considerada absurda la idea del cur-

[18] Compárese P. NATORP, su defensa del tiempo absoluto sobre la crítica de MACH, *Logische Grundlagen der esaxkten Naturwissenschaften*, pp. 326 y sig., especialmente pp. 333-34.

so de tiempo no uniforme era que supondría una contradicción para la supuesta pasividad o inacción causal del tiempo que, como la del espacio, se deducía del postulado fundamental de la homogeneidad. Como la formuló Bertrand Russell sólo unos cuantos años antes del advenimiento de la teoría de la relatividad:

> Tal hipótesis (de la variabilidad del ritmo de todos los cambios) es matemáticamente posible, pero, como la que es similar para el espacio, se ve lógicamente excluida por la naturaleza comparativa del juicio de la cantidad, y filosóficamente por el hecho de implicar tiempo absoluto como agente determinador en el cambio, mientras que el tiempo no puede ser nunca, filosóficamente, otra cosa que una forma pasiva abstraída del cambio [19].

Es probable que Kant tuviese presente la misma idea cuando insistió en la invariabilidad del tiempo, aunque su declaración es mucho menos definida [20]. Si el tiempo es verdaderamente homogéneo, o sea, si los diferentes instantes de tiempo difieren *únicamente* por sus posiciones en la serie temporal, entonces no se pueden producir cambios físicos, ya observables o no, mediante un simple transcurso de tiempo.

En todos sus respectos, el argumento es análogo al del espacio. Lo mismo que todos los efectos físicos sobre los cuerpos se deben descubrir en los propios cuerpos y no en el espacio, que sigue siendo su receptor inerte e invariable, así debe ser con el tiempo. Un mero desplazamiento a través del espacio no tiene como resultado ningún cambio físico; si se produce alguno, se debe no a la acción del lugar, sino a algún agente que actúa *en* el espacio. A esta relatividad de la posición en el espacio corresponde la relatividad de la posición en el tiempo; un mero desplazamiento en el tiempo, en virtud de la equivalencia cualitativa de los instantes sucesivos, no puede tener ningún efecto físico; por consiguiente, los cambios en los cuerpos físicos únicamente deben resultar de causas físicas que actúan *en* el tiempo, no del tiempo en sí. El principio de la ineficacia causal del espacio y el tiempo fue expuesto antes de Russell, con gran claridad y precisión, por James Clerk Maxwell:

> La diferencia entre un suceso y otro no depende de la mera dife-

[19] B. Russell, *An Essay on the Foundations of Geometry*, p. 157.

[20] I. Kant, *Critique of Pure Reason*, p. 82: "El tiempo en sí no se altera, sino únicamente algo que está en el tiempo".

rencia de los tiempos y los lugares en que ocurren, sino únicamente de las diferencias de la naturaleza, configuración o movimiento de los cuerpos considerados[21].

La homogeneidad del tiempo se consideraba como *base de la unidad de la naturaleza en el tiempo*, o sea, como fundamento lógico de inducción; la creencia en la universalidad intemporal de las leyes de la naturaleza se basaba en el mismo fundamento. Explícita o implícitamente, se creía que las leyes de la conservación y las leyes de la inercia se fundamentaban en la supuesta ineficacia causal, o sea, homogeneidad, del tiempo[22]. Ahora se ve con claridad por qué la estructura del espacio había de ser considerada como *rígida*, o sea, independiente del tiempo; la afirmación opuesta presupondría la acción causal del tiempo sobre el espacio que, según palabras de Russell, no se puede suponer sin incurrir en los «más descabellados absurdos»[23].

El problema de la duración del espacio.

Sin embargo, había cierta ambigüedad en esta afirmación de la *intemporalidad* del espacio. Aparentemente, en la relación de yuxtaposición que es la esencia de la espacialidad, no existe ninguna referencia al tiempo; a la inversa, en la relación de sucesión, no se puede hallar ningún rastro de espacialidad. Según palabras de Kant: «El tiempo sólo tiene una dimensión; los diferentes tiempos no son simultáneos, sino sucesivos (lo mismo que los diferentes espacios no son sucesivos, sino simultáneos)»[24]. Completando la hipótesis de la intemporalidad del espacio mediante la inespacialidad del tiempo, Kant trazó entre el espacio y el tiempo una destacada línea que ningún físico se atrevía a borrar antes del advenimiento de la teoría de la relatividad.

Pero aun antes de la revolución de la física, existían ciertas

---

[21] James C. Maxwell, *Matter and Notion* (Nueva York, Dover, 1953; la edición original, 1877), p. 13. Acerca de la inacción causal del tiempo, véase también E. Meyerson, *La déduction relativiste* (París, 1925), pp. 106-107.

[22] Kant, *op. cit.*, p. 217, acerca de la correlación de la unidad de tiempo con el principio de permanencia de la substancia; E. Meyerson, *De l'explication dans les sciences* (París, 1921), vol. I, cap. V ("L'identité et l'identification"), especialmente pp. 150-153.

[23] B. Russell, "Les axiomes propres à Euclide sont-ils empiriques?", *Revue de métaphysique et de morale*, vol. VI (1898), p. 773.

[24] Kant, *op. cit.*, p. 75.

cuestiones intrusas con respecto al espacio y el tiempo que eran difíciles de ignorar. Admitiendo que las diversas porciones del espacio están *yuxtapuestas* o son *coexistentes* y nunca sucesivas, ¿no hay al menos una referencia indirecta al tiempo suponiendo en silencio que los términos yuxtapuestos son considerados como *simultáneos*, o sea, como existiendo *al mismo tiempo?* Era posible evitar esta cuestión afirmando que la simultaneidad no es relación temporal en absoluto. Esto es lo que hizo Kant, aunque no siempre era consistente en este respecto [25].

Pero había una cuestión mucho más grave. Aun si admitimos con Newton, Locke, Maxwell y casi todos los otros pensadores clásicos que la estructura del espacio está completamente desprovista de cambio y en este sentido es «eterna», no se puede negar que el espacio, aunque inmutable, *sigue perdurando a través del tiempo.* Si no, ¿cómo podríamos hablar de movimiento que ocurre *en* el espacio? ¿No se encuentran las sucesivas posiciones de un cuerpo que se mueve no sólo en diferentes puntos de espacio, sino también *en diferentes instantes de tiempo?* Si esto es cierto, entonces no es válida la declaración de Kant acerca de la imposibilidad de diferentes espacios sucesivos. Es verdad que estos espacios sucesivos no son cualitativamente diferentes, y ésta es la razón por la que nos inclinamos a fusionarlos en un solo e invariable espacio intemporal, pero este espacio intemporal es meramente una conveniente etiqueta aplicada a lo que es en verdad una *serie infinita de espacios instantáneos sucesivos* que, aunque cualitativamente idénticos, aún difieren por sus posiciones en el curso universal del tiempo.

Así, aunque es cierto decir que el espacio clásico era inmutable, *no* es cierto que fuese intemporal. Como ya hemos indicado, la inmutabilidad y la duración no eran incompatibles según la doctrina clásica del tiempo. La verdadera intemporalidad pertenecía únicamente a los espacios sucesivos individuales, de los que cada uno, en virtud de su carácter instantáneo, sólo contenía relaciones puramente espaciales. Así, incluso la ciencia clásica parecía conducir a la conclusión de que el tiempo es receptáculo no sólo del material físico variable, sino también del *propio espa-*

---

[25] Las inconstancias y vacilaciones de KANT sobre este punto fueron expuestas convincentemente por NORMAN KEMP SMITH en su *Commentary on Kant's Critique of Pure Reason* (Londres, Macmillan, 1918), pp. 135-136 y 358-359.

cio[26]. Pero rara vez se acentuó esta implícita subordinación del espacio al tiempo, y en la mayoría de los casos prevaleció la tendencia opuesta: subordinar el tiempo al espacio, e incluso negar enteramente el *status* objetivo del tiempo. Esta tendencia opuesta se debía al hábito de considerar las propiedades del tiempo como análogas a las del espacio y se vio fortalecida por algunas implicaciones del concepto clásico de causalidad, que analizaremos más tarde.

---

[26] WHITEHEAD señaló que era ésta la hipótesis tácita de la ciencia clásica, *The Concept of Nature*, p. 71.

CAPITULO CUARTO

El concepto de materia

La definición clásica de la materia y sus consecuencias.

La tercera entidad básica del mundo de la física clásica era la *materia*. Este concepto apenas ha cambiado desde los tiempos de Leucipo hasta principios del siglo XX: un *algo* impenetrable, que llena completamente ciertas regiones del espacio y que persiste a través del tiempo aun cambiando de lugar.

Esto es evidente por la definición: materia = espacio lleno. ¿Lleno de qué? ¿Ocupado de qué? Para todo el que estaba imbuido del espíritu de la ciencia clásica, tal pregunta carecía completamente de significado; meramente indicaba el fracaso en captar el significado de la definición anteriormente expuesta. La función de ocupar el espacio no es una de varias propiedades de la materia; es su *única* propiedad. Como resultado de la operación de abstracción, realizada por primera vez por la escuela de Elea, de todos los atributos observables de la materia, sólo se retuvo el atributo de la ocupación espacial o, como dice Windelband, «corporeidad abstracta» [1]; los otros quedaron relegados al reino de las «apariencias». La fuente de la distinción entre las cualidades primarias y secundarias se halla precisamente en esta operación de abstracción. Las cualidades primarias distintas a la plenitud eran las propiedades geométricas que la materia compartía con el espacio que ocupaba.

Así, en los propios albores del pensamiento occidental, la materia se convirtió en concepto de la más alta generalidad, comparable al concepto del Ser, y no fue accidental que la materia y el Ser se identificasen originalmente. Si la plenitud del espacio es la esencia de la materia, no se puede especificar más ni incluir bajo un concepto más general, porque se convierte, lo mismo que

---

[1] W. Windelband, *History of Ancient Philosophy*, traducción de H. E. Cushman (Nueva York, Dover, 1956), pp. 61, 89.

el propio Ser, en el concepto de la más alta generalidad. Bertrand Russell sólo lo expuso en términos diferentes cuando insistió en la indefinibilidad básica de la relación de la ocupación espacial. Sin embargo, el término «relación» puede ser causa de error porque puede dar la impresión equivocada de que hay *tres* términos implícitos: el *terminus a quo*, o sea, la materia, la relación de la propia ocupación y el *terminus ad quem*, el espacio. Pero los dos primeros términos coinciden realmente; su diferenciación es puramente verbal y se debe por completo a la estructura del lenguaje o simbolismo utilizado. Substraed de la materia clásica su atributo de ocupación espacial y no quedará nada más que una escueta palabra.

El hecho empírico del movimiento condujo a los primeros atomistas a admitir la existencia del *espacio desocupado* o del *vacío* como única posibilidad de escapar de las paradojas del *plenum* inmutable de Parménides. Esta conclusión fue adoptada no sólo por todos los atomistas posteriores, sino también, como veremos, por todos los científicos clásicos, que claramente se percataron de que la negativa del espacio vacío y la realidad del movimiento sólo se pueden reconciliar verbalmente. De esto trataremos más por extenso en el capítulo V, dedicado al movimiento. Para nuestra intención presente basta indicar que en un consistente modelo cinético-corpuscular de la naturaleza se suponía que sólo están llenos ciertos volúmenes de espacio, constituyendo así lo que llamamos cuerpos físicos. Un número de importantes atributos físicos empíricamente verificables de la materia, aunque de ningún modo todos ellos, se pueden derivar de su definición básica. Si la materia es espacio lleno, entonces sus elementos constitutivos deben ser de naturaleza impenetrables, indivisibles, indestructibles, rígidos y homogéneos. El poder deductivo del clásico concepto mecánico de la naturaleza, y lo que antes de 1900 parecía su completo e indiscutible triunfo, sólo se puede ilustrar si consideramos con algún detalle la lista anteriormente expuesta.

El hecho de hablar en plural acerca de la materia, o sea, acerca de sus *elementos* constitutivos, en vez de hacerlo en singular, está justificado por la admisión del espacio vacío: sólo el vacío puede romper la continuidad de la materia en los cuerpos individuales. Su impenetrabilidad e indivisibilidad se deducen necesariamente de la definición básica: materia = espacio lleno. La plenitud no admite grados; lo que ya está *lleno* no puede estar *más lleno*, o sea, no puede estar simultáneamente lleno de alguna

otra cosa: los cuerpos materiales son, por tanto, impenetrables. Aparentemente, esto se halla en contradicción con nuestra experiencia diaria; los hechos de las mezclas, soluciones, difusiones, compuestos químicos, etc., parecen indicar que la materia es penetrable. Pero esta discrepancia desaparece tan pronto como se interpretan correctamente los hechos pertinentes. Como dice Bergson:

> Tratad de imaginar un cuerpo penetrando en otro: en seguida supondréis que hay espacios vacíos en el que será ocupado por las partículas del otro; a su vez, estas partículas no pueden penetrar unas en otras a menos que se divida uno de ellos para llenar los intersticios del otro, y nuestro pensamiento prolongará esta operación indefinidamente, prefiriendo imaginar dos cuerpos en el mismo lugar[2].

Bergson saca la conclusión de que no es una necesidad física, sino *lógica*, la que nos conduce a la proposición de que dos cuerpos no pueden ocupar el mismo lugar al mismo tiempo.

En este respecto, sólo tiene razón en parte. Es cierto que mientras el atomismo estaba en su etapa especulativa la impenetrabilidad de los últimos elementos era solamente una deducción lógica derivada de sus postulados básicos. Pero ya se había afirmado que la denominada penetrabilidad de la materia es únicamente un fenómeno superficial debido a las limitaciones de nuestros sentidos, y que si nuestra percepción se refinase suficientemente podríamos *ver* que dentro de las mezclas, soluciones y compuestos químicos aparentemente uniformes se hallan estrictamente yuxtapuestas, sin penetración mutua, las partículas de las diferentes substancias. Sólo que el limitado poder de discriminación de nuestros sentidos nos impide percibir la individualidad indestructible de las partículas componentes dentro de los agregados engañosamente homogéneos y continuos. Y esto quedó precisamente confirmado por una refinada experiencia: hoy, por medio de los espectrogramas de rayos X, es posible calcular incluso la anchura de los intersticios que separan los componentes individuales yuxtapuestos, por ejemplo, la distancia entre los átomos de sodio y clorina en la celosía cristalina de la sal común. Así es hoy un hecho experimentalmente establecido lo que brillantemente anticiparon hace siglos unos cuantos individuos osados, como Nicolás

---

[2] *Essai sur les données immédiates de la conscience* (París, 1889), pp. 65-66; traducción inglesa, *Time and Free Will*, por F. L. Pogson (Nueva York, Macmillan, 1910), p. 88.

d'Autrecourt, defendiéndolo en grandes batallas contra la autoridad tiránica de Aristóteles [3].

La indivisibilidad de las últimas partículas era otra consecuencia de la definición básica de la materia. Este atributo de la materia se convirtió en una de las piedras angulares de la teoría atómica. No lo contradice la divisibilidad observada de la materia. La materia se divide únicamente cuando algún agente mecánico extraño (habitualmente considerado como corpuscular) penetra en los finos intersticios que existen entre las partículas de una substancia dada y, dilatando sus distancias, deshace su textura. La división mecánica sólo puede afectar a los agregados, no a sus partes constitutivas; sólo puede incrementar las distancias entre lo que ya está *realmente dividido*.

De nuevo tenemos que ponernos en guardia contra el engañoso carácter de nuestra percepción sensorial de cuerpos aparentemente «compactos». Los únicos cuerpos verdaderamente compactos son, como acentuó Lucrecio [4], las propias partículas elementales; lo que está completamente lleno no admite ninguna penetración extraña, y es, por consiguiente, absolutamente indivisible. Esta indivisibilidad no se debe comparar con ninguna dureza empíricamente conocida —por ejemplo, la del hierro o el diamante—. La dureza de todas las substancias empíricamente conocidas tiene cierto *grado* que, por alto que sea, no es infinito, y, por tanto, puede ser vencido siempre que sea lo bastante poderoso el agente externo desintegrante. Por esta razón, la impenetrabilidad de las substancias macroscópicas es únicamente *relativa*, a causa de su naturaleza compuesta. En contraste, los átomos tienen una solidez absoluta que, como ya observó Huygens, debe ser considerada como *infinita* [5]. El hecho empírico de los diferentes grados de dureza se debe a los diferentes modos en que las últimas partículas, que son en sí absolutamente compactas y sólidas, se asocian en varios modelos estructurales. Así, pues, la indestructibilidad de los átomos se deduce como una mera consecuencia de su ilimitada resistencia a cualquier agente divisor.

---

[3] K. Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, vol. I, pp. 235-252 y 257-258; Pierre Duhem, *Le mixte et la combinaison chimique* (París, 1902), cap. I. Sobre la cristalografía rudimentaria de Demócrito, compárese S. Sambursky, *The Physical World of Greeks*, traducción de Merton Dagut (Nueva York, Macmillan, 1956), pp. 120-121.

[4] Lucrecio, *De rerum natura*, I, vv. 483-519.

[5] Carta de Huygens a Leibniz, 12 de julio de 1692; en C. I. Gerhardt, ed., *Leibnizens mathematische Schriften*, vol. II (Berlín, 1850), p. 139.

La afirmación de Leibniz, Kant, Fechner, etc., acerca de que la materia debe compartir con el espacio su divisibilidad infinita se ha desechado distinguiendo la divisibilidad *geométrica* de la divisibilidad *mecánica;* aquélla es ilimitada, pero pertenece únicamente al vacío, o sea, al recipiente geométrico de la materia, no a la materia en sí; la propia lentitud de los elementos constitutivos de la materia impone cierto límite a su división física.

La constancia de la materia.

Un término más adecuado y menos negativo que la *indestructibilidad* es la *constancia* o *permanencia.* Se creía que los últimos elementos de la materia eran constantes en su *masa,* en su *volumen* y en su *forma.* El principio de la constancia de la masa implica lo que se conoce hoy como *principio de la conservación de la materia;* si la masa cósmica total es la suma total de las masas atómicas, entonces la constancia de las masas atómicas implica la constancia de toda la masa del universo. Este principio fue claramente anticipado nada menos que veintidós siglos antes de su verificación experimental por Lavoisier. No es accidental que Immanuel Kant, el contemporáneo filosófico de Lavoisier, al sostener este principio en su Primera Analogía de la Experiencia, citase la antigua máxima latina: *Nihil de nihilo nihil, in nihilum nil posse reverti* (Nada puede surgir de la nada, nada puede convertirse en nada) [6]. Aún resulta más significativo que este principio, que implica tanto la indestructibilidad como la increabilidad de la materia, haya sido considerado por diferentes pensadores y en diferentes períodos como axioma básico, incapaz de prueba ulterior, sin el cual el mundo ordenado sería totalmente inconcebible; la terminología cambia, pero la substancia del argumento sigue siendo la misma en Lucrecio, Gassendi, Spinoza, Kant y Spencer [7].

---

[6] *Critique of Pure Reason,* traducción de Normen Kemp Smith, p. 215.

[7] Lucrecio *(op. cit.,* I, vv. 149 y sig., 215 y sig., 483 y sig.) considera la indestructibilidad de la materia como condición necesaria del orden en la Naturaleza; Spinoza afirma que la destrucción de una sola partícula material implicaría la aniquilación de todo el universo físico *(Opera* IV, editada por C. Gebbhardt, Heidelberg, 1924, epístola IV); Kant considera la substancia como categoría necesaria que hace que la experiencia sea posible, mientras que la permanencia de la substancia es para él una consecuencia de la unidad trascendental de tiempo (compárense notas 6 y 13); H. Spencer afirma que la constancia de la materia se presupone en cualquier artificio expe-

Esto demuestra que las raíces de este principio se hallan a mayor profundidad que en cualquier descubrimiento de fecha histórica; se determinan por la propia estructura de la mente humana aún si *no* es necesario creer que esta estructura es inmutable e incapaz de modificación. La creencia en la permanencia de la materia se puede descubrir en la famosa tautología eleática: *el Ser existe* y no se puede concebir como no existente; nada se puede predicar de él, excepto que existe de forma eterna e inmutable. Se ha dicho correctamente que el átomo no es más que el Ser Eleático en una escala microscópica que posee todas las propiedades del de Parménides: su *unidad* indiferenciada e *inmutabilidad* absoluta [8]. No sólo los átomos materiales, sino también *toda entidad substancial,* fueron planeados según el modelo eleático; en este aspecto, el impacto de Parménides sobre la totalidad del pensamiento occidental fue mucho más profundo que lo que se observa generalmente. En realidad, incluso las denominadas entidades espirituales —las mónadas, el Ego trascendental, el Absoluto y otros— fueron dotadas de la misma unidad homogénea básica e inmutabilidad radical. Aunque el principio de la conservación de la materia fue una anticipada idea preconcebida que suscitó una búsqueda de su verificación experimental, sería injusto olvidar el tremendo acopio de experiencia, desde Jean Rey a Hans Landolt, que la substanció. Toda la ciencia de la química sería totalmente imposible sin esta obra experimental. Sin embargo, esto no cambia el hecho de que todos los datos empíricos que confirman la ley de la conservación de la materia parecían llenar obedientemente un marco intelectual preconcebido, que formaron los hombres independiente o casi independientemente de la materia [9]. Desde luego, lo mismo ocurre con otras facetas del modelo cinético-corpuscular de la materia, pero ciertamente no sucede lo mismo con otros descubrimientos empíricos, especialmente en la biología y otras ciencias análogas; sobre todo, no ocurre lo mismo con los descubrimientos de la física. Más tarde trataremos de captar todo el significado epistemológico de este hecho.

---

rimental para establecerla *(First Principles,* 4.ª ed., Nueva York, Appleton, 1896, parte II cap. IV).

[8] W. WINDELBAND, *op. cit.,* p. 90.

[9] E. MEYERSON *(Identité et Réalité,* 5.ª ed., París, 1951, pp. 176-177 y 184-190) señala que tanto J. Rey como A. Lavoisier estaban convencidos acerca de la validez de esta ley antes de sus intentos de verificarla; además, que sus verificaciones se hallaban lejos de ser exactas.

La constancia del volumen atómico es otra consecuencia de la definición básica. Pues la variabilidad del volumen atómico implicaría un incremento o una reducción de la cantidad de materia contenida en los átomos o significaría cierta *elasticidad* primaria de los átomos. La primera posibilidad se ve evidentemente excluida por la postulada inmutabilidad de la masa atómica que hemos expuesto anteriormente; por otra parte, la hipótesis de la elasticidad básica de las partículas primarias permitiría que la misma cantidad de masa atómica ocupase volúmenes de diferente tamaño. Es evidente que esto equivaldría a una simple negación de la *proporcionalidad de masa y volumen* que es el verdadero núcleo del atomismo clásico. Los atomistas consistentes han considerado siempre la compresibilidad de los cuerpos macroscópicos como resultado del desplazamiento de las partículas elementales, que, al reducir sus distancias, causan una aparente reducción de volumen registrada por nuestros sentidos; pero las partículas en sí siguen siendo constantes e incompresibles tanto para Lucrecio como para Gassendi, Newton y Dalton. Según las premisas básicas del atomismo, la elasticidad sólo puede pertenecer a los agregados atómicos, no a los átomos en sí. Por esta razón, la primera sospecha de que las moléculas de gases no son últimas unidades, sino agregados complejos, se vio suscitada por su observada elasticidad [10].

Matemáticamente hablando, la constancia de forma no es equivalente a la constancia de volumen. En las teorías atomísticas fueron tratadas como equivalentes, porque ambas se deducen de la supuesta rigidez de los átomos. Aunque es lógicamente concebible que una partícula que varía de forma retenga el mismo volumen y la misma masa, tal posibilidad no fue nunca considerada seriamente, por lo menos en el período en que se aceptó la explicación cinético-corpuscular. Los «átomos extensibles» de Juan Crisóstomo Magneno pertenecen al período en que el pensamiento atomístico carecía aún de la claridad y consistencia de su edad madura [11], mientras que la famosa hipótesis de Lorentz-Fitz Gerald de los electrones deformados por sus movimientos fue impuesta por la experiencia, resultando finalmente inasimilable por la física clásica, dominada ésta por el concepto del átomo rígido.

---

[10] J. B. Stallo, *The Concepts and Theories of Modern Physics* (Nueva York. Appleton, 1882), cap. IV.

[11] Este era el caso de Juan Crisóstomo Magneno en el siglo XVII, que suponía la existencia de átomos extensibles. Compárese Lasswitz, *op. cit.*, I, 498-511.

Así, las deformables partículas de Lorentz significaban realmente el principio del fin de lo que se puede llamar «era de Demócrito». El concepto clásico del átomo es, por su propia naturaleza, incompatible con cualquier idea de variabilidad del átomo, ya sea en masa, volumen o forma; el átomo sigue siendo inmutable a través del tiempo. Todo su valor para la explicación científica radicaba precisamente en su supuesta autoidentidad y permanencia. Cuando Boltzmann, a finales del último siglo, jugueteó con la idea de «átomos variables», Emile Meyerson observó correctamente que tales átomos cambiarían *sin causa*, lo cual es imposible; sin embargo, si su cambio fuese realmente observado, entonces sólo indicaría que no son unidades simples, sino agregados complejos, y que las verdaderas unidades, o sea, las unidades invariables, se deben buscar en las partículas más finas de que se componen los denominados «átomos variables»[12]. Como veremos, esto sucedió realmente varias veces en la historia del pensamiento atomístico: el observado cambio de las supuestas últimas partículas condujo a la hipótesis de su complejidad y suscitó una búsqueda de unidades más pequeñas y básicas que no variasen en el tiempo. Este parecía ser el único modo de evitar un *cambio sin causa* de las propiedades atómicas, ya sea en masa, volumen o forma.

El concepto de la rigidez de los átomos, o sea, de la constancia de su masa, volumen y forma, puede ser fructuosamente estudiado desde otro ángulo, complementario a nuestro anterior estudio, más que diferente de éste: partiendo del principio de la *pasividad causal* de espacio y tiempo. Ya hemos discutido esto por extenso en los capítulos II y III y, por tanto, aquí podemos tratar brevemente de ello.

Hemos visto que la doctrina de que el espacio y el tiempo son homogéneos significa que para todo cambio físico, o sea, todo cambio observable en los cuerpos físicos, ya sean simples o compuestos, se debe buscar una causa en los cuerpos físicos y en sus acciones físicas; no debemos considerar nunca ningún cambio como efecto de particulares regiones de espacio, como creía Aristóteles, o de un particular momento de tiempo, como jamás creyó nadie probablemente. Pero entonces es patentemente absurdo creer que una última unidad material cambiaría sus propiedades moviéndose simplemente en el espacio. Sería igualmente absurdo

---

[12] MEYERSON, *op. cit.*, p. 473.

suponer que la unidad elemental cambiará sus características (masa, volumen, forma) simplemente *persistiendo a través del tiempo*, hallándose a la vez en estado de reposo; entonces parecería que el tiempo es la única entidad a la que se podría atribuir el cambio, y ya sabemos que esto conduciría a la conclusión de que sus momentos son heterogéneos.

Esta correlación lógica de la homogeneidad del tiempo y la permanencia de las substancias materiales fue observada claramente por Kant, que la expresó en su habitual modo abstruso diciendo que «la unidad trascendental de tiempo» requiere la persistencia de la misma cantidad de substancia en los fenómenos. Los pasajes citados anteriormente de James Clerk Maxwell y Bertrand Russell con respecto a la homogeneidad e ineficacia causal de espacio y tiempo conducen a la misma conclusión que el de Kant. El «axioma de libre movilidad» de Russell no es nada más que uno de los postulados básicos del atomismo, según el cual la rigidez de los cuerpos no se ve afectada ni por su desplazamiento en el espacio ni por su persistencia a través del tiempo [13]. Pero el concepto de rigidez implica constancia de masa, así como de forma y volumen.

La atomicidad no se deriva de la definición básica de la materia.

Al principio puede parecer paradójico que, pudiéndose derivar tantas propiedades de los átomos de la definición básica de la materia como espacio lleno, no se vea implícita en ella la existencia de los átomos en sí. Una vez supuesta su existencia, muchas de sus propiedades se deducen lógicamente de la definición básica, pero entre ellas no se incluye la proposición de que el volumen de las partículas debe tener cierto límite inferior. La afirmación de que las partículas de materia deben tener cierto volumen finito parecía ser una hipótesis arbitraria, y los oponentes del atomismo se aprovecharon plenamente de esta supuesta debilidad. Utilizando el lenguaje de la ciencia contemporánea: ¿Por qué la distancia de 10^{-13} cm. ha de poseer un carácter privilegiado para ser el radio de las últimas unidades de la materia?

---

[13] Kant, *op. cit.*, p. 212; B. Russell, *An Essay on the Foundations of Geometry*, pp. 149-161.

¿Por qué no cualquier otra distancia más pequeña, por ejemplo, 10^{-40} cm., como insinuó una vez Eddington? [14]. ¿O una distancia mayor? Incluso Demócrito estaba consciente de la posibilidad lógica de concebir un átomo tan grande como el universo [15]. Esto era algo más que un recuerdo de la indivisible esfera-mundo de Parménides, aunque era idéntica la lógica subyacente: siendo la plenitud absoluta la única base de la indivisibilidad de los átomos, no es inconsistente concebir el átomo-mundo. Así la única justificación para suponer la existencia de diminutas partículas atómicas, desde la época de Lucrecio hasta el presente día, ha sido de naturaleza empírica: las requiere nuestra experiencia. El definido valor del radio del átomo es una constante empírica que lógicamente se puede derivar de la definición básica de la materia.

Este carácter lógicamente arbitrario de las constantes empíricas, que impide su derivación de algunos principios generales, es lo que Meyerson llamaba *l'irrationnel* en explicación científica; es la tozuda resistencia de ciertas facetas de la experiencia a aparecer como consecuencias lógicas de aquellos principios lógicos la que, a causa de su mayor generalidad y aparente autoevidencia, debe poseer, a nuestro juicio, el privilegio de ser los únicos verdaderos y últimos principios aclaratorios. En un mundo completamente racional, o sea, lógicamente necesario, el carácter arbitrario de los coeficientes empíricos debe desaparecer y éstos se deben incorporar en un omnímodo sistema deductivo [16]. La fuerza que tiene este impulso lógico de nuestra mente ha sido demostrada en nuestro propio siglo por los famosos intentos de Eddington de unir constantes cósmicas lógicamente diferentes, incluyendo la masa y el radio del electrón [17]. La tentación se vio simplemente fortalecida por los anteriores éxitos indiscutibles de esta tendencia. ¡Cuántas constantes que la química del pasado siglo consideraba como puramente empíricas, o sea, lógicamente arbitrarias, resultaron ser simples consecuencias de la nueva teoría del electrón! No obstante, parece que la propia naturaleza pone

---

[14] P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, Macmillan, 1948), p. 93.

[15] C. A. Bailey, *Greek Atomists and Epicurus*, p. 126; A. Hannequin, *Essai critique* sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine (París, 1895), p. 141 n.

[16] E. Meyerson, *De l'explication dans les sciences* (París, 1921), vol. II, p. 211; "Le monde nécessaire et la disparition des coefficients".

[17] Compárese E. T. Whittaker, *From Euclid to Eddington* (Cambridge University Press, 1947), cap. V.

cierto límite a esta completa racionalización de la realidad. Es ciertamente muy instructivo que este límite haya sido ya discutido en las explicaciones atomísticas, en las que la ordenación lógica de la experiencia ha alcanzado una altura tan insuperada. Lo mismo que la tridimensionalidad del espacio, el volumen y masa finitos de las últimas partículas de la materia no eran, en definitiva, nada más que irreducibles y obstinados datos escuetos.

Esta faceta empírica del atomismo explica el hecho de que la teoría de la divisibilidad finita de la materia no se impuso nunca con la misma fuerza lógica que la divisibilidad infinita del espacio; pues mientras que esta última se deducía de la homogeneidad del espacio, aquélla *no* se deducía de la definición de la materia. El concepto de espacio infinitamente divisible es igualmente compatible con la atomicidad y con la continuidad (divisibilidad infinita) de la materia. En el siglo XIX, cuando nació la física clásica, Gassendi y Newton aceptaron el atomismo, mientras que Descartes y Hobbes lo rechazaron; sin embargo, ambos aceptaron la continuidad del espacio. Un siglo después, Kant, aunque se pronunciaba en favor del concepto de materia continua en su *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, así como en su Analítica Trascendental, adoptó una idea neutral en la Dialéctica Trascendental, donde consideraba el dilema «atomismo contra continuidad» como una antinomia insoluble [18].

Los defensores de la continuidad de la materia siempre pudieron rechazar la evidencia empírica de la existencia de los átomos como meramente provisional e inconcluyente; siempre pudieron confiar en que la investigación ulterior resolvería las supuestas unidades indivisibles en sus partes componentes y estas partes en partes todavía más pequeñas y así *ad infinitum*. Con cierta satisfacción pudieron señalar cuán espuria era la supuesta indivisibilidad del átomo daltoniano. ¿Por qué suponer entonces que la indivisibilidad del electrón es definitiva? Esto explica por qué le costaba tanto morir a la idea de Pascal sobre la cadena infinita de los mundos, metidos unos en otros como las cajas chinas, y por qué afloró incluso en la mente de Whitehead al final de su vida a pesar de todo su énfasis anterior sobre la atomicidad de la naturaleza.

Por otra parte, la teoría de materia infinitamente divisible

---

[18] Es cierto que la segunda antinomia de Kant es espuria, porque la continuidad de la materia es enteramente compatible con la hipótesis de mónadas como puntos.

condujo a algunas dificultades muy serias que se mencionarán a su debido tiempo, mientras que la teoría atómica, a pesar de la hipótesis lógicamente inderivable de un radio definido y una forma (habitualmente esférica), poseía una simplicidad lógica tan notable, que se convirtió en el ideal de explicación a que aspiraban las explicaciones físicas concretas, con diferentes grados de éxito. Este ideal estaba *casi* conseguido cuando prevaleció definitivamente la interpretación cinético-corpuscular de la naturaleza. El atomismo antiguo, así como el atomismo de Gassendi, con toda su multiplicidad de formas y volúmenes atómicos, se hallaba todavía lejos de esta meta ideal, que encontró su formulación definitiva cuando se postularon un solo radio y una sola forma esférica. En su forma original, la teoría del electrón era *casi* una realización de este ideal, como trataremos de demostrar en el capítulo VI.

CAPITULO QUINTO

El concepto de movimiento

EL MOVIMIENTO Y LOS CONCEPTOS DE ESPACIO, TIEMPO Y MATERIA.

La discontinuidad de la materia se postuló originalmente para un propósito explícito: explicar la realidad del movimiento. El atomismo y el cinetismo son una sola e idéntica cosa, puesto que se supone que las partículas atómicas están en perpetuo movimiento. El movimiento como cambio de coordenadas espaciales implica a la vez espacio y tiempo. Su carácter básicamente relativo se sugiere así inmediatamente, porque las coordenadas espaciales presuponen cierto marco de referencia, habitualmente —pero, según Newton, no necesariamente— incorporado en cierto cuerpo material, ya sea la tierra, el sol o alguna estrella fija. Aunque el número de posibles sistemas de referencia es ilimitado, entre ellos hay uno que, según el mismo Newton, tiene un carácter privilegiado y único: el espacio absoluto, que se suponía que era verdaderamente inmóvil y enteramente independiente de los cuerpos físicos concretos contenidos en él. Así un cuerpo que se mueve con respecto a su espacio absoluto está en *movimiento absoluto*, mientras que un cuerpo en reposo con relación al espacio absoluto se halla en *reposo absoluto*. Es importante que estemos conscientes de que incluso los conceptos de reposo y movimiento absolutos poseían cierto carácter de relatividad, porque su propia definición contenía una relación a cierto sistema de referencia, sin que importe hasta qué punto era único y privilegiado este sistema [1].

El movimiento definido como cambio de coordenadas espaciales en el tiempo comparte con el espacio y el tiempo su propiedad

---

[1] El olvidado aspecto de movimiento absoluto fue correctamente acentuado por E. CASSIRER en su *Substance and Function*, traducción de W. Curtis Schwabey y M. C. Schwabey (Nueva York, Dover, 1953), pp. 172-173.

común: continuidad matemática o divisibilidad infinita. A una serie de sucesivos momentos de tiempo corresponde otra serie de puntos yuxtapuestos; la segunda serie constituye un *camino* de una partícula. Como ambas series son continuas, es posible seguir un movimiento de un corpúsculo incluso dentro de los más pequeños intervalos de espacio y tiempo. Para esta tarea, la física teórica encontró un instrumento adecuado en el cálculo.

La tarea de la física experimental era considerablemente más ardua, puesto que las dificultades técnicas de penetrar mediante experiencia y observación en pequeñísimos intervalos de espacio y tiempo eran muy grandes, especialmente cuando una partícula era muy pequeña y cambiaba la dirección de su movimiento muy rápidamente. No obstante, siempre se suponía que las trayectorias de las partículas eran continuas incluso dentro de pequeñísimos intervalos de espacio y tiempo, donde era imposible una observación directa. Los modelos clásicos del microcosmos se basaban todos en esta hipótesis perfectamente natural. Incluso en el modelo original del átomo de Bohr se imaginaba que los electrones, semejantes a planetas, se movían a lo largo de órbitas continuas según las mismas leyes keplerianas que regían el movimiento de los planetas alrededor del sol. Este era simplemente otro aspecto del principio de la relatividad de magnitud que los físicos clásicos creían que era válido tanto para el espacio como para el tiempo.

Pero si el movimiento implica a la vez espacio y tiempo, a la inversa no es cierto. No tenemos que repetir lo que ya hemos dicho acerca de la independencia de espacio y tiempo con respecto a su contenido físico. El movimiento ocurre *en* el espacio, pero no puede afectar al espacio en sí; como lo expuso John Locke, en el verdadero espíritu newtoniano:

> Las partes del espacio puro son inmóviles, lo cual se deduce de su inseparabilidad; no siendo el movimiento nada más que cambio de distancia entre dos cosas cualesquiera; pero esto no puede suceder entre partes que son inseparables; las cuales, por tanto, deben estar en perpetuo reposo unas entre otras [2].

Mediante una cita similar de James Clerk Maxwell se puede demostrar qué poco cambió este argumento en dos siglos:

> El espacio absoluto se concibe como permaneciendo siempre si-

[2] JOHN LOCKE, An Essay Concerning Human Understanding, lib. II, cap. 13, § 14.

milar a sí mismo e inmóvil. La disposición de las partes del espacio no se pueden alterar más que el orden de las porciones de tiempo. Concebirlas como desplazándose de sus lugares es *concebir un lugar que se aleja de sí mismo* [3].

De manera análoga, el movimiento ocurre *en* el tiempo sin ser idéntico al tiempo en sí. La propia posibilidad de un cuerpo que se halla en reposo durante cierto intervalo de tiempo muestra simplemente la separabilidad lógica y física de tiempo y movimiento. El espacio y el tiempo son *recipientes* de movimiento, pero su *vehículo*, o sea, *cosa que se mueve*, sólo puede ser un cuerpo material. Como escribió David Hume en su *Treatise on Human Nature:* «La idea de movimiento supone necesariamente la de un cuerpo que se mueve» [4]. John Tyndall acentuó todavía más enfáticamente la imposibilidad de imaginar movimiento sin materia:

Pero ¿cabe dentro de la mente humana imaginar el movimiento sin imaginar al mismo tiempo algo que se mueve? Ciertamente que no. El propio concepto de movimiento incluye el de un cuerpo que se mueve [5].

En otras palabras, el movimiento es siempre un desplazamiento de *algo*, y este algo sólo puede ser un cuerpo material que, existiendo en espacio y tiempo, no es idéntico a ellos. Este cuerpo material es la materia clásica.

Más específicamente, el concepto clásico de movimiento requería el de *materia discontinua*. La verdad de esta proposición se vio obscurecida por cierta confusión asociada con el término «líquido continuo» o «éter continuo». Como veremos en el capítulo VII, la denominada continuidad de cualquier fluido hipotético, el cual se supone que llena todo el espacio, era espuria o conducía a consecuencias absurdas. Además, rara vez se sostuvo consistentemente [6].

Pero si el movimiento implica materia, tampoco es cierto a la inversa. No nos confunda el hecho de que la inseparabilidad de la materia y el movimiento fue vehementemente proclamada

---

[3] JAMES C. MAXWELL, *Matter and Motion* (Dover, 1953; 1.ª ed., 1877), cap. I, § 18; compárese también B. RUSSELL, *Principles of Mathematics*, p. 405.
[4] D. HUME, *Treatise on Human Nature*, parte IV, § 4, "Modern Philosophy".
[5] JOHN TYNDALL, *Light and Electricity* (Nueva York, Appleton, 1873), pp. 123-24.
[6] Compárese capítulo VII de este texto, bajo el encabezamiento de «Teorías de la fluidez de la Materia», para una discusión más extensa.

por materialistas de todos los países, desde Leucipo hasta Büchner. Lo que éstos tenían presente era la correlación *objetiva* de materia y movimiento; pero la eterna coexistencia de materia y movimiento, acentuada habitualmente para fines de polémica contra los teólogos y los científicos de mentalidad teológica, no significa necesariamente una relación *lógica* entre ellos. En la definición básica de la materia *no* está contenido el concepto de movimiento y no se puede extraer de ella, a menos que se introduzca en ella subrepticiamente. De esto se dio claramente cuenta el joven Leibniz, que escribió en su carta a Thomasius en 1668:

> Cum enim corpus nihil aliud sit, quam materia et figura, et vero nec ex materia nec figura intelligi possit causa motus, necesse est, causam motus esse extra corpus * [7].

El mismo argumento fue expuesto dos décadas después por John Locke:

> Supongamos eterno, grande o pequeño cualquier paquete de materia; no lo encontraremos en sí capaz de producir nada. Por ejemplo, supongamos la materia de la primera guija que encontremos como eterna, estrechamente unida, y las partes firmemente juntas en reposo; si no hubiese otro ser en el mundo, ¿no debe permanecer eternamente así, terrón muerto e inactivo? ¿Es posible concebir que puede añadir movimiento a sí misma, siendo puramente materia, o producir cualquier cosa? La materia, pues, por su propia fuerza, no puede producir nada; el movimiento que tiene también debe proceder de la eternidad, o, si no, ser producido o añadido a la materia por algún otro ser más poderoso que la materia: no teniendo poder la materia para producir movimiento en sí, como es evidente [8].

La nota deísta es insignificante para la validez de la conclusión. El mismo argumento se puede hallar en el prefacio de D'Alembert a su *Traité de dynamique* [9], y está implícito en la ley de la inercia. Si hubiese una necesaria correlación lógica de

(*) Puesto que el cuerpo no es nada más que materia y figura y puesto que la causa del movimiento no se puede comprender a base de materia o figura, la causa del movimiento debe estar necesariamente fuera del cuerpo.

[7] La carta de Leibniz a Jacob Thomasius, 26 de septiembre de 1668 (C. J. Gerhardt, ed. *Leibnizens Philosophische Schriften*, Berlín, 1875, vol. I, pp. 9-11).

[8] Locke, *op. cit.*, lib. IV, cap. 10, § 10.

[9] Jean le Rond d'Alembert, *Traité de dynamique* (1743), Discours préliminaire: "On voit d'abord clairement qu'un corps ne peut se donner le mouvement à lui-même. Il ne peut donc être tiré du repos que par l'action de quelque chose étrangère".

materia y movimiento, entonces el concepto de un cuerpo sin movimiento debe ser autocontradictorio o incompatible con las leyes de la física. Pero ninguna de las dos afirmaciones es verdadera; tal concepto no es ni contrario al concepto de cuerpo en general, ni a las leyes de la mecánica; antes bien, los físicos del pasado siglo que se ajustaban más fiel y consistentemente al esquema conceptual clásico insistían en que *debe haber por lo menos un* cuerpo absolutamente sin movimiento en el universo, aun si su existencia fuese empíricamente inverificable: tal era el «cuerpo Alfa» sin movimiento de Carl Neumann [10] o el éter sin movimiento de Lorentz.

La substancialidad del movimiento y las leyes de la conservación.

Tan pronto como se reconoció que el movimiento no se podía derivar de la materia ni del espacio y el tiempo, adquirió automáticamente el carácter de una entidad independiente y casi substancial. Siendo mutuamente inconvertibles el movimiento y la materia, sólo el movimiento puede ser causa de movimiento, e igualmente sólo el movimiento puede ser efecto del movimiento. Así la cantidad de movimiento debe ser constante, como lo es la cantidad de materia, y sólo su distribución espacial varía con el tiempo. Es tal vez una exageración afirmar con J. B. Stallo que «la ley de conservación de la energía es coetánea con la inteligencia humana» [11], pero no se puede negar que los antiguos atomistas se acercaron mucho a la formulación de esto cuando insistieron sobre la carencia de causa e indestructibilidad del movimiento. El principio de constancia de ser, o sea, su indestructibilidad e increabilidad, fue aplicado por Lucrecio no sólo a las substancias materiales, sino también a sus movimientos [12].

Es cierto que Lucrecio no se hallaba plenamente consciente del significado de su propio principio y de que lo contradecían al-

---

[10] C. N. Neumann, *Über die Principien der Galilei-Newtonschen Theorie* (Leipzig, 1870).

[11] J. B. Stallo, *Concepts and Theories of Modern Physics*, 2.ª ed. (Nueva York, Appleton, 1885), p. 69.

[12] Lucrecio, *De rerum natura*, II, vv. 294-307. Haas cita este pasaje en *Die Entwicklungsgeschichte des Satzes von der Erhaltung der Kraft* (Wien, 1909) como la más antigua exposición conocida del principio de indestructibilidad de movimiento. Sin embargo, esto no es correcto; véase nota 13.

gunas de sus otras ideas. Afirmaba, por ejemplo, que sólo hay *dos* primeros principios, la materia y el vacío, sin darse cuenta de que, según su propia idea, el movimiento, siendo indestructible y eterno, es en verdad un *tercer* principio. Una inconsistencia aún más seria era su creencia de que el *peso*, o sea, la tendencia de los cuerpos a moverse hacia abajo, es una propiedad inherente de los átomos; evidentemente no se percataba de que el movimiento así concebido *nace de algo que no es movimiento*, o sea, de la polaridad intrínseca del espacio que, aunque no tiene fondo, posee, sin embargo, la diferencia absoluta entre ARRIBA y ABAJO. (No es preciso que digamos nada sobre otra discrepancia todavía más sorprendente —la idea de desviación espontánea— que es totalmente incompatible con la ley de conservación del movimiento de Lucrecio y con todo el espíritu de su sistema mecanicista.) En esta conexión, el primitivo atomismo griego era muy superior a sus descendientes epicúreos. Por Leucipo y Demócrito el espacio era correctamente considerado no sólo como infinito, sino también como homogéneo e isotrópico, siendo equivalentes todas sus direcciones. Sus átomos se mueven en *todas* las direcciones y cambian la dirección de su movimiento solamente chocando unos con otros; el peso de los átomos *no* es una propiedad primaria de la materia, sino un efecto del medio que la rodea, o sea, del impacto de otros átomos, en definitiva. Así las únicas propiedades de los átomos de Demócrito parecen ser su impenetrabilidad *e inercia* [13]. Ciertamente, los primitivos atomistas griegos se acercaron todo lo posible al moderno concepto cinético y mecanicista de la naturaleza; y las leyes de la inercia, así como la ley de conservación de la energía, fueron entonces, si no explícitamente formuladas, bosquejadas al menos por ellos.

Como ocurrió, en efecto, la exacta formulación cuantitativa de estos principios había de esperar hasta el siglo XVII. A la in-

---

[13] Los estudios de H. C. LIEPMANN (*Die Mechanik der Leucip-Demokritischen Atome*, Leipzig, 1885) y A. BRIEGER (*Die Urbewegung der Atome und die Weltanschauung des Leukipp und Demokrit*, Halle, 1884) establecieron la necesidad de diferenciar entre la mecánica de Demócrito y la de Epicuro; mientras que este último suponía un espacio anisotrópico y el movimiento hacia abajo de los átomos, aquél suponía el movimiento rectilíneo de los átomos a través del espacio isotrópico. Pero ni siquiera Lipmann reconoció que la palabra correcta para lo que llama "die passive Schwere" es inercia. Ni tampoco C. Bailey utiliza la palabra "inercia", aunque su idea es idéntica a la de F. ENRIQUES, *Le Dottrine di Democrito d'Abdera* (Bologna, 1946), cap. III, donde demuestra de manera convincente hasta qué punto se anticipó Demócrito a Galileo.

fluencia de Aristóteles se le atribuye habitualmente esta demora, así como el colorido ateo del atomismo, hacia el cual fue tan hostil todo el período medieval. Toda la filosofía de Aristóteles se basa en la negación de la constancia de movimiento: todo lo que se mueve se mueve porque y mientras lo mueve algún «movedor». Incluso un proyectil o una piedra arrojada de la mano no se mueve a causa de cierta velocidad adquirida, sino porque algo —en este caso la presión del aire— la mantiene en movimiento. Esto se aplica incluso a los eternos movimientos celestes y al universo en general. Así es correcto decir con Arthur Haas que la ley básica de la mecánica aristotélica, cuando se traduce a terminología moderna, sería $F = mv$, en contraste con la fórmula de Newton $F = ma$, donde F = fuerza, m = masa, v = velocidad y a = aceleración [14]. En otras palabras, se necesita fuerza para mantener un cuerpo en movimiento en el universo aristotélico, mientras que no sucede lo mismo en el mundo de Galileo y Newton. Hemos acentuado suficientemente cuán inferior en esta conexión era Aristóteles a los primitivos atomistas griegos, que sólo carecían de movimientos cinemáticos más claramente definidos para llegar a una correcta formulación de la ley de la inercia y a la de la cantidad de movimiento.

Pero detrás de la oposición de Aristóteles a la teoría atomística del movimiento había algo más que una falta de intuición y sus prejuicios teleológicos. Detrás de su resistencia a admitir la substancialidad del movimiento se hallaba un prejuicio metafísico hondamente arraigado que es común a todos los períodos del pensamiento occidental y del que incluso los atomistas no se hallaban enteramente libres. Era el prejuicio de que el cambio no puede ser algo lógica u ontológicamente autosuficiente y que, por tanto, necesita una *explicación*. En otras palabras, debe haber alguna razón suficiente, algún principio aclaratorio que explique la realidad del cambio, y este principio aclaratorio, para evitar un retroceso infinito, debe ser algo *más allá del cambio*. Este es el núcleo de la prueba aristotélica de la existencia de Dios, aceptada por Santo Tomás e incluso por el neotomismo, sin ninguna modificación significativa. Pero ¿no había la misma tendencia fundamental detrás de la resistencia de Lucrecio a enumerar el movimiento como la tercera entidad básica al lado de la materia

---

[14] A. Haas, *Die Grundgleichungen der Mechanik dargestellt auf Grund der geschichtlichen Entwicklung* (Leipzig, 1914), cap. V; Aristóteles, *Physica*, VII, 5.

y el vacío? La lógica del atomismo requería la enumeración explícita de *todas* las entidades básicas que son lógicamente independientes: el espacio, el tiempo, la materia y el movimiento. Pero sólo la primera y la tercera fueron explícitamente enumeradas. El movimiento, aunque su substancialidad se reconocía claramente, no fue nunca enumerado entre las entidades básicas. Por el contrario, la existencia del «tercer principio», al menos nominalmente, era negada. Al tiempo le iba todavía peor; rara vez se hablaba de él, y si le mencionaban, su existencia era considerada como derivada, dependiente de cuerpos y movimientos en el sentido de la teoría relacional posterior [15].

Esta tendencia retrocedió en la era moderna, pero más entre los científicos que entre los filósofos, e incluso entre los primeros científicos modernos se hallaba claramente presente. Si las partículas materiales son constantes en masa, volumen y forma, ¿por qué no aplicar también el principio de constancia a las *posiciones?* En fecha tan reciente como la de principios del siglo XVII la palabra *inercia* no tenía su actual significado. Para Kepler significaba una tendencia natural de la materia a *retener su posición en el espacio*, o sea, a resistir al movimiento. Sólo después de Galileo y Descartes se hizo patente que ésta es únicamente *la primera mitad* de la ley de la inercia y que su segunda mitad requiere que la materia, una vez movida, tenga la tendencia de persistir en su movimiento y que *resista* las fuerzas opuestas que reducen su velocidad. Pero para Kepler el término *inertia materialis* significaba una resistencia al cambio de posición, no al cambio de velocidad. Meyerson observó correctamente que lo que se puede llamar «principio de la conservación de posición» tiene para el puro sentido común una mayor plausibilidad que la ley de la inercia [16].

Esto explica por qué incluso cuando la inercia se reconoce como la propiedad básica de la materia al lado de su impenetrabilidad, la tendencia a buscar una *explicación* del movimiento,

---

[15] La definición que hace Epicuro del tiempo como "accidente de accidentes" (σύμπτωμα συμπτωμάτων) adoptada más tarde por Gassendi, indica claramente que en el esquema cinético-corpuscular el tiempo se ve *dos veces apartado* de la realidad básica, que es la materia y el vacío; el movimiento es meramente un "accidente", porque no afecta a la constancia de la materia ni a la inmutabilidad del espacio; mientras que el tiempo, siendo una función de movimiento, no es así nada más que "accidente de accidentes". Compárese Bailey, *op. cit.*, pp. 305-309; W. Genf, *Die Philosophie des Raumes und der Zeit* (Bonn, 1926), p. 24.

[16] E. Meyerson, *Identité et réalité*, pp. 123, 149, 534 y sig.

incluyendo el movimiento rectilíneo y uniforme, no desaparece totalmente. Así Euler, aun reconociendo la inercia como el atributo fundamental de la materia como cosa distinta de su impenetrabilidad, sentía, sin embargo, la tentación de explicar la realidad del movimiento por la impenetrabilidad de la materia: dos cuerpos no pueden ocupar el mismo espacio; por tanto, uno de ellos debe desplazarse de él [17]. De manera análoga, Descartes, aunque ayudó a formular la ley de la inercia y le dio una forma aún más general que Galileo, se inclinaba, no obstante, a postular para todo movimiento su movedor material que, chocando por detrás, hace que un cuerpo movido se mantenga en movimiento. Esta era su famosa teoría de los vórtices, que sólo en formas ligeramente modificadas continuaba viva a principios de este siglo; como veremos, ni siquiera hoy se halla enteramente muerta esta tendencia [18].

No es menester decir que son circulares todos los intentos de derivar el movimiento de la impenetrabilidad de la materia; a fin de explicar un movimiento de cierto cuerpo, otro cuerpo *ya en movimiento* debe ser postulado, como el éter *ya giratorio* de Descartes, que se mueve con los planetas alrededor del sol. Como se puede suscitar repetidas veces la pregunta de «¿Qué mantiene en movimiendo al movedor?», tenemos que hacer frente a un retroceso infinito, que sólo de una manera aristotélica puede acabarse arbitrariamente, o aceptar cabalmente, si no, la realidad del movimiento como cantidad constante substancial, tal cual hizo Descartes finalmente. No reconocer esto significa no reconocer la ley de la inercia, y regresar, tal vez torpemente, a Aristóteles. La fuerza que todavía tiene hoy esta tentación se puede ver por la siguiente manifestación del vizconde Samuel acerca de una bala voladora:

> Pero la bala es pasiva; no es diferente de antes después de haber sido disparada; por ello no ha llegado a «poseer» nada; no «lleva» ni «transporta» nada en absoluto. La causa del vuelo debe buscarse en algo que no es la bala en sí. Si deseáramos hablar con precisión deberíamos decir que *el ave se mueve*, pero que *la bala es movida*. ¿Movida por qué? Según las razones aportadas sólo puede hacerlo un éter enérgico [19].

---

[17] L. Euler, *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie* (París, 1866), partie II, lettre 9e, p. 261.

[18] Principia Philosophiae, II, 37; III, 30.

[19] H. Samuel, *Essay in Physics* (Oxford, Blackwell, 1951), p. 70.

Esta obstinada tendencia a buscar un movedor detrás de todo movimiento es simplemente un ejemplo especial de un impulso más general de *explicar* la realidad del cambio, frecuentemente de *eludirla mediante una explicación.* La invariabilidad parece ser racional y lógicamente autosuficiente, pero cualquier cambio requiere justificación. Bernard Riemann, que en otros aspectos se hallaba notablemente libre de las influencias tradicionales, explicó este impulso de un modo clásicamente conciso:

> La cosa seguiría siendo lo que es si no se añadiera ninguna otra cosa. Aquí radica el motivo de buscar la causa de todo cambio * [20].

Muy bien; pero el movimiento no se puede explicar añadiendo a un cuerpo en reposo otro cuerpo, a menos que este último esté ya en movimiento. En un nivel más general, también sucede lo mismo con el cambio; el cambio no se puede obtener por ningún esfuerzo lógico de algo desprovisto de cambio. Pero aunque esta empresa sea desesperada, es demasiado fascinante que los filósofos la repitan una y otra vez, y con el mismo resultado.

Aun cuando la independencia del movimiento con respecto a la materia, espacio y tiempo se reconoció finalmente, se expresó en las leyes de la conservación, en las que, al menos sistemáticamente, se veía casi obscurecida la verdadera naturaleza del movimiento. El movimiento era considerado como cantidad substancial que se conserva a través del tiempo, mientras que cambia su distribución espacial. Esto es especialmente cierto tanto de las leyes fundamentales de la mecánica como del principio de la conservación de la cantidad de movimiento y el principio de la conservación de energía. Aunque ambos principios fueron anticipados cualitativamente por los atomistas primitivos, su formulación exacta pertenece a las más grandes realizaciones del siglo XVII, cuando se construyeron los cimientos de la mecánica. Ernst Mach demostró cómo la idea de la imposibilidad de *perpetuum mobile,* o sea, de increabilidad e indestructibilidad de movimiento, inunda toda la historia de la mecánica; se hallaba presente en las primeras investigaciones de Stevin, Leonardo y Galileo, así como

(*) Das Ding würde bleiben, was es ist, wenn nichts anderes hinzukömme. Hierin liegt der Antrieb, zu jeder Veränderung die Ursache zu suchen.

[20] B. RIEMANN, "Fragmente philosophischen Inhaltes", *Gesammelte mathematische Werke* (Leipzig, 1892), pp. 522 y sig.

en la demostración general del principio de movimientos virtuales, sobre el cual basó Lagrange toda la mecánica [21].

La formulación exacta de ambos principios y sus relaciones se halló únicamente después de una considerable búsqueda a tientas. Galileo formuló correctamente la ley de la inercia, o sea, la ley de la conservación de la cantidad de movimiento para un cuerpo individual, pero no vio todas sus consecuencias; en particular, no la aplicó a los movimientos celestes [22]. Descartes generalizó la ley de la inercia extendiendo la ley de la conservación de la cantidad de movimiento a todo el sistema de cuerpos e incluso a todo el universo, pero, sin embargo, no se percató de que la suma de momentos debe ser tomada en un sentido *vectorial* y no algebraico [23]. Newton expuso sus axiomas de movimiento sin darse cuenta de que no son todos axiomas auténticos, o sea, mutuamente independientes; pero se acercó mucho a la formulación del principio de la conservación de energía [24]. Sólo Huygens expuso explícitamente esta ley implícita en la obra de Galileo y vio también su compatibilidad con la ley de conservación de movimiento de Descartes, correctamente formulada de nuevo en sentido vectorial [25]. Otros principios de mecánica, como el principio de D'Alembert, las ecuaciones de Lagrange, el principio de menos sujeción, el principio de menos acción y el principio de Hamilton no trajeron nada esencialmente nuevo; eran simplemente reexposiciones matemáticas de los principios descubiertos en el «siglo del genio», como llamaba Whitehead al siglo XVII. A principios del siglo XIX Gauss estaba ya consciente de que no se puede descubrir ningún principio de mecánica esencialmente nuevo, aun-

---

[21] E. MACH, *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Kraft* (Praga, 1872), especialmente pp. 13, 15, 33-46; *The Science of Mechanics*, traducción de T. J. McCormack sobre la 9.ª edición alemana (La Salle, Ill., Open Court, 1942), *passim*, especialmente pp. 101, 110, 602.

[22] E. MEYERSON, *op. cit.*, p. 155.

[23] E. DÜHRING, *Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik* (Berlín, 1873), pp. 105-114; A. HAAS, *Grundgleichungen*, cap. VI, p. 57; PIERRE BOUTROUX, "L'Histoire des principes de la dynamique avant Newton", *Revue de Métaphysique et de Morale*, 18e année (1921), especialmente pp. 675 y sig.

[24] Acerca de esto, compárese P. G. TAIT, *Lectures on Some Recent Advances in Physical Sciences* (Londres, 1875), pp. 33-36.

[25] Acerca de las realizaciones de Huygens, compárese DÜHRING, op. cit., pp. 120-174; E. MACH, *The Science of Mechanics*, pp. 192-226; A. HAAS, *Die Entwicklungsgeschichte*, pp. 64-66; *Grundgleichungen*, cap. XIII; K. LASSWITZ, *op. cit.*, vol. II, pp. 376-397.

que se pueden hallar *nuevos puntos de vista*, desde los cuales se pueden contemplar fielmente los fenómenos mecánicos [26]. La acertada extensión del principio de la conservación de energía a todo el mundo físico en el siglo XIX por Mayer, Joule y Helmholtz fue generalmente acompañada de los repetidos triunfos de la explicación mecánica —o sea, cinético-corpuscular— en todas las provincias de los fenómenos naturales.

---

[26] *The Science of Mechanics*, pp. 322, 442.

CAPITULO SEXTO

Las principales facetas de la idea cinético-corpuscular de la naturaleza

El esquema mecánico de la naturaleza se puede resumir en las cinco proposiciones siguientes:

1. La materia, que es discontinua en su estructura, o sea, que se compone de unidades absolutamente rígidas y compactas, se mueve a través del espacio según las estrictas leyes de la mecánica.
2. Todas las diferencias aparentemente cualitativas de la naturaleza se deben a las diferencias de configuración o movimiento de estas unidades básicas o de sus agregados.
3. Todos los cambios aparentemente cualitativos son meramente efectos superficiales del desplazamiento de las unidades elementales o de sus agregados.
4. Toda acción recíproca entre los corpúsculos básicos se debe exclusivamente a su impacto directo. La acción a distancia es una simple figura de dicción.
5. La variedad cualitativa, así como la transformación cualitativa, son *adiciones psíquicas* de la mente humana perceptora; no pertenecen a la naturaleza de las cosas.

Es importante acentuar en seguida, para evitar una posible interpretación errónea, que este esquema representaba únicamente un *límite ideal* hacia el cual aspiraba de continuo la física sin alcanzarlo nunca por completo. Los nuevos descubrimientos impusieron una y otra vez nuevas modificaciones y correcciones. Estas estropearon la belleza y el rigor del consistente esquema mecánico, pero eran inevitables para conservar un contacto íntimo con la experiencia física. Mas, a pesar de todos los compromisos y repetidos fracasos de alcanzar la explicación cinética ideal en su intacta pureza autoconsistente, la tendencia a moverse en esta

dirección era irresistible para la mayoría de los físicos. La superioridad de la explicación mecanicista era de tal manera abrumadora que ningún fracaso de aplicarla consistentemente a cierto grupo específico de hechos no fue jamás considerado como final y definitivo; por el contrario, siempre se esperaba que el ulterior progreso de la ciencia haría posible una estricta explicación mecanicista. Una y otra vez se cumplió esta esperanza. Aquí no tenemos lugar ni siquiera para un breve bosquejo histórico del desarrollo de la ciencia clásica; unos cuantos ejemplos típicos deben ser suficientes para demostrar que la física clásica y la idea mecánica de la naturaleza, contenidas en las cinco proposiciones anteriormente expuestas, eran idénticas.

La unidad de la materia.

Está claro que las proposiciones enumeradas anteriormente no son lógicamente independientes. La última proposición, que por lo común era tácitamente supuesta por los físicos, pero explícitamente acentuada por los filósofos del período clásico, era una simple consecuencia de las proposiciones 2 y 3; pues el cambio y diversidad cualitativos deben tener algún *status* ontológico, y si no pertenecen a la «naturaleza de las cosas», deben refugiarse en la mente humana perceptora. Pero ni siquiera las proposiciones 2 y 3 son hipótesis independientes; ambas se deducen de la afirmación básica de la homogeneidad y constancia de la materia; de la homogeneidad de las unidades materiales básicas se deducía la negación de las diferencias cualitativas de la naturaleza, mientras que de su inmutabilidad se deducía la negación de cualquier cambio que no fuese *el de posición*. Así ambas declaraciones son simples corolarios del atomismo.

Es cierto que la idea aristotélica de naturaleza cualitativamente diversa y cualitativamente variable se resistía a morir. Ya hemos mencionado que, cuando se abandonó el concepto de lugar natural, la idea de cuatro elementos diferentes se vio virtualmente sentenciada; con el descubrimiento de la infinidad y homogeneidad del espacio se afirmó implícitamente la unidad y homogeneidad de la materia. Sin embargo, a pesar de esto, es asombroso ver cómo los elementos aristotélicos, en una forma disfrazada, persistieron con obstinación en las mentes de los científicos. La química no se desembarazó de la idea del flogisto hasta la

época de Lavoisier; todo un siglo después del descubrimiento de la ley de la gravitación de Newton, la idea de una substancia sin peso o incluso de peso negativo era considerada todavía como hipótesis respetable, aunque su afinidad al viejo concepto aristotélico de elemento intrínsécamente ligero, ya sea aire o fuego, es totalmente obvia. También era Lavoisier quien había de demostrar experimentalmente que la denominada conversión cualitativa de agua en tierra no se produce; en 1770 demostró que el peso total de la vasija de cristal cerrada y del agua que había estado hirviendo en ella seguía siendo el mismo, pero que el peso de la «tierra» depositada en el fondo de la vasija era exactamente equivalente a la pérdida del peso de la vasija; por consiguiente, la «tierra» no venía del agua, sino del cristal [1]. La denominada transformación cualitativa de una substancia más ligera en una más pesada no era así nada más que un *desplazamiento* de diferentes masas cuyo peso total seguía siendo idéntico. No obstante, a pesar de su victorioso esfuerzo de liberar a la incipiente ciencia de la química de los vestigios de las ideas aristotélicas disfrazadas, la mente de Lavoisier no se hallaba completamente libre de ellas. Retenía la idea de *caloricum*, un fluido misterioso postulado para la explicación de los fenómenos del calor, sin darse cuenta, al parecer, de la íntima relación de esta substancia con el flogisto; para nosotros, está ahora claro que el calórico, hablando epistemológicamente, no es nada más que una sensación objetivada de calor, y en esta conexión Lavoisier apenas fue más allá de Aristóteles [2].

Incluso en el siglo XIX, cuando la teoría cinética del calor como modo de movimiento eliminó este particular vestigio del aristotelismo y cuando John Dalton bajó la teoría atomística de las alturas de la especulación filosófica al sólido terreno del experimento, la física y la química se hallaban todavía lejos del ideal de explicación mecánica descrito anteriormente. Una sorprendente faceta del atomismo de Dalton era su carácter *cualitativo;* su antecesor filosófico era Anaxágoras más que Demócrito. En esta conexión, el atomismo cualitativo de Dalton, al insistir sobre la diversidad cualitativa irreducible de los átomos de diferentes elementos, contrastaba vivamente con el dogma básico del

---

[1] E. VON MEYER, *A History of Chemistry from Earliest Times to the Present Day*, traducción de G. McGowan (Londres, Macmillan, 1891), p. 152.

[2] HÉLÈNE METZGER, *La Philosophie de la matière chez Lavoisier*, Actualités scientifiques et industrielles, núm. 218 (París, 1935), pp. 38-44.

atomismo filosófico que, desde Demócrito a Gassendi, afirmó repetidas veces que todas las diferencias cualitativas de la naturaleza eran puramente fenoménicas. Desde el punto de vista estrictamente mecánico, era intolerable admitir que las diferencias físicas y químicas entre, por ejemplo, el hidrógeno y el oxígeno, eran datos últimos e irreducibles. Pero los filósofos mecanicistas, así como los científicos de mentalidad filosófica, nunca perdieron la esperanza de que las diferencias cualitativas entre los átomos de los elementos químicos no son irreducibles y últimas, sino que se deben, en definitiva, a diferencias de configuración de partículas más pequeñas y más básicas.

Así, Robert Boyle, el primero que formuló claramente el concepto de elemento químico, y que insistió también sobre la persistencia de los elementos en los compuestos, creía, no obstante, que las partículas más pequeñas de los elementos (tales como el oro y el mercurio) siguen siendo *corpora manifeste mixta* [3] (cuerpos claramente mezclados), o sea, compuestos de átomos verdaderamente elementales y cualitativamente homogéneos que se unen fuertemente. ¡Así, dos siglos antes del descubrimiento de la radiactividad, Boyle anticipó la complejidad del átomo químico y la posibilidad de la transmutación de los elementos! En el siglo XIX la misma idea fue sostenida por varios filósofos y científicos, como Prout, contemporáneo de Dalton, y más tarde por Berthelot, Gibbs, Lotze, Wundt y Herbert Spencer [4].

Lo extraordinario es que estas esperanzas y expectaciones, que fueron motivadas exclusivamente por razones filosóficas, se viesen *casi* cumplidas por la teoría del electrón empíricamente establecida. Aunque esta teoría pertenece a la era moderna de la física, en cierto sentido puede ser considerada como culminación de las tendencias clásicas, puesto que aparentemente consiguió reducir casi todas las diferencias cualitativas de la naturaleza a las diferencias de complejidad y agregación de los corpúsculos básicos homogéneos. El elemento más simple, el hidrógeno, era considerado como compuesto de dos partículas elementales: el *electrón* y el protón central alrededor del cual giraba. Incrementando gradualmente el número de los electrones periféricos y el número de las partículas nucleares, se podían obtener todos los noventa y dos

---

[3] ROBERT BOYLE, *Chemista scepticus* (Ginebra, 1680), p. 15; traducción inglesa, Londres, Everyman's Library, 1911, p. 32.

[4] E. VON MEYER, *op. cit.*, pp. 189-191; J. B. STALLO, *Concepts and Theories of Modern Physics*, 2.ª ed., cap. III; E. MEYERSON, *Identité et réalité*, pp. 266-269.

elementos conocidos entonces. Combinando estos elementos en compuestos y los resultantes compuestos en minerales, éstos suscitaron toda la aparentemente inagotable variedad de la naturaleza inorgánica. De manera análoga, los compuestos orgánicos eran resultados de la asociación de los átomos de carbono (cada uno de los cuales no es nada más que un sistema de seis electrones que giran alrededor del núcleo complejo) con otros elementos, y de este modo se conseguía explicar la aparentemente milagrosa complejidad de los cuerpos orgánicos.

Sería una exageración entusiástica afirmar que el ideal de explicación de Demócrito no podía haberse realizado de manera más completa y victoriosa; pero, no obstante, su éxito fue lo bastante espectacular para justificar las esperanzas optimistas de que se cubrirían finalmente los restantes huecos del cuadro mecanicista del mundo. Estos huecos eran representados por la polaridad irreducible de las cargas eléctricas, así como por la dualidad de la materia y la electricidad; después de tantos brillantes éxitos de la explicación mecanicista, era natural esperar que estos últimos vestigios de la diversidad cualitativa se resolverían en la omnímoda unidad del éter. Es cierto que la emergencia simultánea de la teoría de la relatividad y de la teoría de *quanta* representaba una nota discordante que enfrió considerablemente el optimismo de los creadores del modelo mecanicista (véase capítulo X). Sigue siendo cierto que el último triunfo de la explicación cinético-corpuscular de la naturaleza, tal cual se ve incorporada en la primitiva teoría electrónica de la materia, fue el más espectacular e impresionante.

La eliminación de la acción a distancia.

La última faceta esencial de la idea cinético-corpuscular de la materia era la idea de que toda acción recíproca entre cuerpos se debe a un impacto o presión mecánica directa; la *acción a distancia* es sólo una apariencia debida a la limitación de nuestra percepción sensorial. Toda influencia física es, en definitiva, *alguna especie de contacto directo*, si no entre cuerpos macroscópicos, al menos entre las partículas elementales del medio intermedio. Es de importancia secundaria la cuestión de si este contacto es duradero, como en el caso de fuerzas cohesivas, o temporal, como en el caso de cuerpos que chocan. Desde Demócrito

a William Thomson y Heinrich Hertz, la idea fundamental sigue siendo idéntica. Los modelos de acción a distancia simplemente se hicieron cada vez más complejos e ingeniosos sin dejar de ser esencialmente mecánicos. Hoy nos inclinamos a sonreir cuando leemos acerca de los ganchos mediante los cuales Demócrito explicaba las fuerzas cohesivas entre los átomos. Sin embargo, ¿era *básicamente* diferente la mayor parte de las explicaciones del siglo XIX?

En el último siglo, James Clerk Maxwell fue uno de un creciente número de físicos que empezaban a darse cuenta de que, hablando estrictamente, no hay contacto directo entre los cuerpos físicos [5]. ¿Significa esto que abandonó la explicación mecanicista por el contacto directo? Ciertamente que no; repetidas veces acentuó la realidad física del medio intermedio [6], y su famoso modelo del éter electromagnético, cuya estrecha semejanza con el modelo cartesiano del joven John Bernoulli fue señalada por E. T. Whittaker [7], parecía estar inspirado por la famosa máxima de Hobbes: *Causa motus nulla esse potest in corpore nisi contiguo et moto* (No puede haber causa de movimiento en un cuerpo, a excepción de un cuerpo en contacto y movido) [8].

No hay nada contradictorio en la actitud de Maxwell; simplemente estaba consciente de que la ausencia de contacto entre las partículas materiales *visibles* no excluye la presencia de partículas de éter mucho más sutiles e imperceptibles que llenan los intersticios entre los corpúsculos materiales y mediante las cuales se comunica de un cuerpo a otro la influencia física directa. Por ejemplo, el efecto de la corriente eléctrica sobre la aguja magnética es explicado por Maxwell de la siguiente manera: mientras que el desplazamiento translativo de las moléculas etéreas en los conductores representa la corriente eléctrica, el remolino etéreo concomitante explica la formación simultánea del campo magnético en el plano perpendicular a la dirección de la corriente. Un interesante detalle ingenieril del modelo de Maxwell era la presencia de las denominadas «moléculas de fricción» metidas entre los vór-

---

5 J. C. MAXWELL, "Action at a Distance", *Scientific Papers* (Cambridge, 1890), vol. II, pp. 313-315.

6 MAXWELL, *op. cit.*, p. 322; compárese también su artículo "Ether", *ibid.*, pp. 763-775.

7 E. T. WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether and Electricity* (Nueva York, Philosophical Library, 1951), vol. I, p. 248.

8 T. HOBBES, *Opera philosophica omnia* (Londini, 1839), I, pars II, c. IX, p. 110.

tices etéreos elementales; su función era dar seguridad de que el disturbio del éter, a manera de remolino, se propagase con un definido sentido de rotación; de lo contrario, los remolinos etéreos adyacentes girarían en direcciones opuestas [9].

Filosóficamente hablando, tal modelo no está lejos de los modelos cartesianos del siglo XVII, ni incluso de los ganchos de Demócrito; la idea de contacto directo de las partes adyacentes de la maquinaria postulada es común a todas estas explicaciones, y es de importancia secundaria la cuestión de si el movimiento se comunica por medio de las cadenas y ganchos de Demócrito o de las «ruedas ociosas» de Maxwell.

La resistencia de Maxwell a aceptar la acción a distancia es típica de todo el período clásico. Ejemplifica la tendencia general hacia la explicación mecanicista de la acción recíproca física entre cuerpos distantes: cuando el vínculo material directo entre los cuerpos distantes que actúan recíprocamente parecía estar ausente, fue inmediatamente proporcionado por la imaginación de los filósofos y los científicos en forma de agente mecánico intermedio que se compone de partículas demasiado sutiles para ser percibidas por los sentidos humanos.

Así todas las influencias físicas que se producen entre cuerpos distantes fueron una y otra vez, y frecuentemente a pesar de repetidos fracasos, explicadas en términos de partículas que viajan de un cuerpo a otro. Sería prolijo enumerar todas las explicaciones cinético-corpusculares de diferentes formas de acción a distancia desde las primeras toscas teorías de emancipación de los atomistas griegos hasta la teoría de emisión de Newton, desde la teoría imaginativa del éter de Leonardo da Vinci, que consideraba la luz como disturbio ondulatorio del «aire luminoso» [10], a las teorías ondulatorias de Huygens y Fresnel; desde la vaga, pero interesante explicación de los fenómenos de peso por Leucipo y Demócrito hasta los diversos modelos hidrodinámicos o cinéticos de la gravitación propuestos por Descartes, Newton, Lesage y otros imitadores modernos [11]; desde las primeras explicaciones cándidas de los fenómenos eléctricos y magnéticos por Gilbert y

---

[9] J. C. MAXWELL, "On Physical Lines of Force", *op. cit.*, I, pp. 451-513, especialmente p. 488.

[10] G. SÉAILLES, *Leonardo da Vinci: l'artiste et le savant* (Paris, 1919), pp. 246-7.

[11] C. BAILEY, *Greek Atomists and Epicurus*, pp. 92-97 y 143-146; F. ENRIQUES, *La Dottrine di Democrito d'Abdera*, pp. 62 y sig.; C. ISENKRAHE, *Das Rätsel der Schwerkraft* (Braunschweig, 1879).

Descartes hasta los refinados modelos del éter electromagnético propuestos por Maxwell, William Thomson, Larmor y otros [12].

Las diferencias entre las teorías de emisión y las teorías del éter, con todo lo importantes que son desde el punto de vista físico, son de importancia secundaria hablando epistemológicamente. El postulado básico es idéntico en ambas teorías; el impacto mecánico directo es el único tipo de influencia física admitido por ambas. La única diferencia es que, mientras los *eidōla* de Demócrito y las partículas de Newton viajan directamente de la fuente de luz a los cuerpos, en las teorías del éter el movimiento vibratorio se comunica por las partículas contiguas del medio intermedio; pero la última partícula de éter vibratoria choca en el ojo o en algún otro cuerpo tan directamente como la partícula viajera de Newton.

Lo mismo sucede con los modelos mecánicos de la gravitación: ya expliquemos los movimientos de los cuerpos gravitatorios por el bombardeo continuo de corpúsculos ultramundanos, como postuló Lesage en su *Lucréce newtonien*, o por la diferencia de densidad de este hipotético medio etéreo, como postuló Newton en su *Optics* [13], el último resultado es idéntico. En cualquiera de las dos hipótesis, el movimiento gravitacional es causado por alguna especie de empujón, *vis a tergo*, que impulsa directamente a los cuerpos en cuestión.

En ciertas provincias de los fenómenos naturales la explicación mecánica de la acción recíproca se ha establecido fuera de toda duda; tal era la explicación de la propagación del sonido mediante ondas longitudinales que sustituyó al ingenuo concepto de las «partículas sonoras» de los atomistas primitivos. En otras pro-

---

[12] W. GILBERT, *On the Loadstone and Magnetic Bodies*, traducción del latín por F. Mottelay, caps. II-III. Con respecto a la influencia de la teoría de *effluvia* de Gilbert sobre Descartes y Newton, compárese WHITTAKER, op. cit., vol. I, pp. 34-37; con respecto a la teoría mecánica cartesiana de los fenómenos de electricidad, compárese F. ROSENBERGER, *Die moderne Entwicklung der elektrischen Principien* (Leipzig, 1898), pp. 23-24; B. COHEN, *Franklin and Newton* (Filadelfia, The American Philosophical Society, 1956), *passim*, especialmente pp. 387-390. Acerca de la lealtad de Franklin a los principios del mecanicismo, compárese Cohen, *op. cit.*, especialmente pp. 297-98. Acerca de los modelos mecánicos del éter en el siglo XIX, compárese WHITTAKER, *op. cit.*, vol. I.

[13] LESAGE, "Lucrèce newtonien" en: *Mémoires de l'académie de Berlin 1782* (Berlin, 1784); I. NEWTON, *Optics*, 4.ª ed. (Londres, 1730), pregunta 31. Sobre las ideas de Newton acerca del éter, compárese E. A. BURTT, *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, cap. VII, § 5, pp. 265-280; E. MEYERSON, *op. cit.*, apéndice I, pp. 513-527; B. COHEN, *op. cit.*, pp. 142-145 y 166-174.

vincias, como la óptica, la explicación cinética de la luz en términos de un disturbio periódico parecía ser razonablemente segura antes de 1900, a pesar del carácter hipotético del éter lumínifero. Pero construir un modelo satisfactorio y consistente de *todos* los fenómenos electromagnéticos, no sólo de esa especialísima clase de ellos que llamamos luz, resultó ser una tarea mucho más ardua. Parecía que la dificultad era casi insuperable al requerirse que el modelo del éter fuese lo bastante extenso para explicar los fenómenos de la gravitación. Pero la dificultad de esta tarea hizo simplemente más significativa la obstinación con que una y otra vez se propusieron los modelos mecánicos del éter electromagnético y gravitacional.

Ha debido haber razones más profundas detrás de esta persistente fe, que, a pesar de repetidas desilusiones, nunca terminó en completo desaliento ni resignación, y que, como veremos, persistió esporádicamente incluso después de haber finalizado el período clásico. Como razón primaria, el modelo mecánico de la *actio in distans* era una consecuencia inevitable de la consistente idea cinético-corpuscular de la realidad física, y, en particular, de la ley cinética de la conservación de energía. Una vez aceptado esto, surge inmediatamente la pregunta de: ¿Dónde se halla la energía luminosa o electromagnética en el intervalo que media *entre* su emisión de un cuerpo y su llegada al otro? Si no desaparece temporalmente, debe existir *en alguna parte* y *de alguna forma;* la única hipótesis consistente con el mecanicismo es la de que existe en la energía cinética del postulado medio intermedio. La otra hipótesis era, como claramente veía Poincaré [14], una consecuencia lógica de la ley de la constancia de energía, interpretada de una manera estrictamente cinética. La afirmación de que toda forma de energía es energía cinética era una parte siempre presente de la consistente idea mecánica de la naturaleza.

Al principio, esta afirmación puede parecer históricamente incorrecta, pues parece contradecirla el uso general del concepto *energía potencial.* Pero una inspección más minuciosa demostrará que, para los físicos clásicos más destacados, este concepto era un conveniente aparato matemático inventado para el propósito explícito de mantener constante la cantidad de energía; tan pronto como se puso en duda el *verdadero significado físico* de este concepto prevaleció la idea de que la energía potencial es únicamente

[14] H. POINCARÉ, "Science and Hypothesis", en *The Foundation of Science,* p. 146.

una forma disfrazada de energía cinética, o sea, la energía cinética de las partículas invisibles. Los ejemplos de Leibniz y Huygens son instructivos en esta conexión. Comparten el mérito de formular claramente el principio de la constancia de energía; además, Leibniz fue el primero que introdujo el concepto de energía potencial en la física [15]. ¿Significa esto que consideraba la energía potencial como autónoma e irreducible a la energía de movimiento? Esto es al menos dudoso, porque fue hombre que hizo contribuciones sumamente significativas a la interpretación cinética de la ley de la conservación de energía. Fue Leibniz el que reconoció que, en el choque de cuerpos inelásticos, la porción de la energía cinética que aparentemente desaparece no es destruida, sino que simplemente es distribuida entre las partículas moleculares; la aparente pérdida de energía es, en realidad, una transformación del movimiento perceptible macroscópico en el movimiento invisible microscópico [16]. En principio, ésta era una anticipación del equivalente mecánico del calor que fue descubierto mucho más tarde y que es una de las piedras angulares de la teoría cinética del calor. Pero si la energía térmica es solamente una forma especial de la energía de movimiento, ¿no sucede lo mismo con otras formas de energía, incluyendo la *energía de posición?* Esto es lo que Leibniz creía cuando se pronunció en favor de la explicación cinética de la gravitación, mientras rechazaba la noción de la fuerza atrayente actuando a distancia como retorno a las «cualidades ocultas» de los escolásticos [17].

En esta conexión, la idea de Leibniz era similar a la de Huygens, que en su *Dissertatio de causa gravitatis* también trató de explicar la gravedad cinéticamente, o sea, como resultado del movimiento de chocar átomos del hipotético medio etéreo. Esto significa que, si el péndulo gana energía potencial en su movimiento ascendente, mientras que pierde su movimiento visible, esta pérdida es sólo aparente; la energía cinética *no* se destruye, sino que simplemente se redistribuye, comunicándose a los átomos del éter gravitacional, que finalmente fuerza el movimiento descen-

---

[15] A. HAAS, *Entwicklungsgeschichte*, pp. 20-21. Aunque los primeros indicios del concepto de energía potencial aparecen en Gassendi y Borelli, su primera definición clara se halla en la *Dynamica* de Leibniz, pars II, sec. 1.

[16] *The Leibniz-Clarke Correspondence*, edición de H. G. Alexander, pp. 87-88 (quinta carta de Leibniz); MAX JAMMER, *Concepts of Force* (Harvard University Press, 1957), p. 167.

[17] Quinta carta de Leibniz a Clarke, *op. cit.*, p. 94.

dente del péndulo. Por tanto, la situación es básicamente la misma que en la aparente pérdida de energía de los cuerpos inelásticos. En su *Additamentum ad dessertationem de causa gravitatis*, escrito después de la publicación de los *Principia*, de Newton, Huygens aceptó el formalismo matemático de la teoría de Newton, mientras que insistía sobre la necesidad de la explicación mecánica. Según Huygens, las leyes de la conservación de energía y momento son válidas no sólo para los cuerpos visibles macroscópicos, sino también para los átomos y las partículas etéreas. Su idea es una ilustración convincente del hecho de que *la negación de acción a distancia* y la afirmación de que *toda energía es cinética* son básicamente una sola e idéntica proposición [18].

Durante dos siglos después de Leibniz y Huygens, esta proposición fue la inspiración de todos los esfuerzos persistentes por explicar mecánicamente *todos* los ejemplos de aparente acción a distancia. Las dificultades concretas de esta tarea eran enormes, pero precisamente esto hace más significativa la persistencia de tales esfuerzos y delata la fuerza del motivo subyacente. La mayoría de los destacados físicos del siglo XIX, tales como Gauss, Faraday, Maxwell, William Thomson, Helmholtz, Hertz y J. J. Thomson, se oponía a la idea de fuerza que salta instantáneamente a través de la distancia, ya sea esta distancia de dimensiones moleculares o interplanetarias [19]. Mediante las dos citas siguientes se puede ilustrar qué poco varió este convencimiento básico:

> En la verdadera Filosofía concebimos las causas de todos los efectos naturales en términos de movimientos mecánicos. Y, en mi opinión, debemos admitir esto o perder, si no, toda esperanza de entender siquiera algo en la física. (Chr. Huygens, *Traité de la lumière*, 1690.)
>
> Me parece que la prueba de «¿Entendemos o no entendemos un tópico particular de la física?» es «¿Podemos hacer de él un modelo mecánico?» (W. Thomson, *Notes of Lectures on Molecular Dynamics*, 1884.)

Pero hay una razón adicional para la continuada confianza en el éxito final de la explicación mecánica de todos los fenómenos de la naturaleza a pesar de los retrocesos temporales. Esta ra-

---

18 Carta de Leibniz a Huygens, 11 de abril de 1692, y respuesta de Huygens el 11 de julio de 1692 (*Leibnizens mathematische Schriften*, II, pp. 133-136).

19 Compárense numerosas referencias en MEYERSON, *op. cit.*, pp. 76-80.

zón, aunque negativa, fue probablemente tan fuerte como el convencimiento mecanicista positivo del cual apenas se podría separar psicológicamente: simplemente no había ninguna teoría rival que pudiese competir victoriosamente con el mecanicismo por medio de su consistencia intrínseca o su verificación empírica. Esto se hará más patente si analizamos brevemente algunas teorías y filosofías de la naturaleza que, durante el período clásico, parecían concomitantes con la trayectoria mecanicista prevaleciente.

CAPITULO SEPTIMO

Algunas trayectorias colaterales: El dinamismo, el energicismo y las teorías de la fluidez

EL DINAMISMO.

La mayor ventaja de las explicaciones cinético-corpusculares parecía ser su gran atractivo para nuestra imaginación. Incluso hoy la idea del impacto mecánico directo parece a una mente cándida como sumamente familiar y natural. Pero, desde la época de Hume, ha estado viva la cuestión de hasta qué punto tenemos derecho a confundir la familiaridad psicológica con la claridad lógica. ¿No se basa la sensación de familiaridad en la conjunción habitual de ideas, o sea, en la asociación fortalecida por la repetición y el hábito? ¿Entendemos realmente la acción mediante contacto directo mejor que la acción a distancia? ¿O se debe la única diferencia al hecho de que estamos más *acostumbrados* a la primera? ¿No es la acción mediante contacto tan enigmática, en definitiva, como la acción a distancia? Tales preguntas condujeron a algunos filósofos-científicos —por ejemplo, Boscovich, Kant, J. S. Mill, Comte, Wundt, J. B. Stallo, E. Mach— a la conclusión de que la aversión a la acción a distancia es meramente un prejuicio de nuestra imaginación condicionada. En el pasado siglo estas tendencias se asociaban con el positivismo empiricista, que deliberadamente renunciaba a todo intento de explicación insistiendo en que la única tarea de la ciencia es *describir*, no *explicar*; de aquí viene su actitud crítica hacia el atomismo y cinetismo, que eran considerados por numerosos positivistas como el último vestigio de la metafísica [1].

---

[1] ROGER BOSCOVICH, *Philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virum in natura existentium (Venetiae,* 1763; edición anglolatina por J. M. Child, Chicago, Open Court, 1922), I; KANT, "Die metaphysische Anfangsründe der Naturwissenschaft", *Werke,* Bd. IV (Berlín, 1911); JOHN STUART MILL, *An Examination of Sir William Hamilton's Philosophy* (Nueva York, 1874), vol. II, pp. 242-246; J. B. STALLO, *Con-*

Por otra parte, la actitud positivista hacia la acción a distancia se asociaba con las denominadas *teorías mecánicas de la materia*, según las cuales las *fuerzas*, actuando inmediatamente a través de la distancia, constituyen la verdadera esencia física de la materia o, al menos, son tan primarias como la materia en sí. Esta última idea era una especie de compromiso entre el atomismo y el dinamismo; no se negaba la existencia de las últimas partículas materiales, pero se las dotaba de fuerzas que emanaban de ellas, mediante las cuales se ejercían las influencias físicas entre los cuerpos. Esta combinación híbrida de atomismo y acción a distancia era probablemente la idea más universalmente aceptada en el pasado siglo. Ciertamente inundaba los libros de texto de la física y las mentes de los científicos menos sofisticados. El dualismo de fuerza y materia *(Kraft und Stoff)* de Ludwig Büchner pertenece a esta línea de pensamiento.

La idea dinámica, que veía la última esencia de la materia en fuerzas que emanaban de centros como puntos y actuaban instantáneamente a través de la distancia, era representada especialmente por Boscovich, Kant y Faraday. Históricamente, se puede seguir su rastro hasta los discípulos de Newton más que hasta el propio Newton, cuya idea concerniente a la naturaleza de la fuerza era insegura y vacilante, oscilando entre el agnosticismo de un tipo positivista *(Hypotheses non fingo*, «No construyo hipótesis») y la explicación mecanicista de la gravitación mediante la presión del éter. En cierto sentido cuidadosamente definido, el dinamismo también tenía sus raíces en la metafísica de las mónadas dinámicas no extendidas de Leibniz [2]; pero teniendo en cuenta la distinción entre Leibniz metafísico y Leibniz científico, no debemos olvidar que en todos los problemas físicos concretos Leibniz se pronunciaba en favor de las explicaciones mecánicas y era, lo

---

cepts and Theories of Modern Physics, p. 145; E. MACH, *Science of Mechanics*, pp. 589-590 (contra el mecanicismo y el cinetismo en general). Hay una diferencia importante entre el dinamismo físico de BOSCOVICH y KANT y el positivismo de Mach; Mach rechazaba incluso el concepto de fuerza, que los dinamistas consideraban como la propia esencia de la materia (MACH, *op. cit.*, pp. 308, 317). Pero Mach se hallaba más cerca del dinamismo que lo que estaba dispuesto a reconocer; cuando hablaba de la "dependencia mutua de los cuerpos", ¿no volvía a introducir la acción a distancia bajo un nombre nuevo? W. WUNDT *(Die physikalische Axiome und ihre Beziehungen zum allgemeinen Kausalprincip*, Erlangen, 1866, p. 32) apenas es consistente cuando acepta la acción a distancia a pesar de su simpatía general por las explicaciones cinéticas.

[2] BOSCOVICH, *op. cit.*, I, donde caracteriza su propia filosofía de la materia como síntesis de las ideas de Leibniz y Newton.

mismo que Huygens, resueltamente opuesto a la reificación de la fuerza, en la que veía un disfrazado retorno a las «cualidades ocultas» de la Edad Media. En este sentido difería de Kant, que, aunque evasivo con respecto a la última esencia de la materia, era un dinamista resuelto en cuanto se refiere a sus «manifestaciones fenoménicas» [3].

Es instructivo comparar los méritos del dinamismo con los del atomismo. El dinamismo afirmaba que se halla más en armonía con el principio de continuidad que el atomismo. No tiene que aceptar el arbitrario radio finito de las partículas materiales. Al contrario que el atomismo, no conduce a la consecuencia de que las velocidades de las partículas que chocan cambian abruptamente sobre las superficies rígidas de los átomos. Aceptando la fuerza como entidad física primaria cuya magnitud y *signo* varían con la distancia, explica la impenetrabilidad y la gravedad al mismo tiempo. La impenetrabilidad resulta de la fuerza repulsiva en la inmediata vecindad del centro dinámico, mientras que la gravedad es una consecuencia de hecho de que la misma fuerza invierte su signo a cierta distancia. Por tanto, no hay necesidad de pesados modelos mecánicos. Esto, y la eliminación de la distinción entre la partícula y el campo de fuerza que la rodea, tiene un núcleo casi moderno.

Sin embargo, esto no debe ocultarnos algunas serias dificultades inherentes a la idea de la materia. A pesar de todas las dificultades que el mecanicismo empezó a experimentar a finales del pasado siglo y que se hicieron insuperables en este siglo, siguió siendo muy superior al dinamismo, tanto en lógica como en su interpretación de los datos empíricos. En primer lugar, como hemos indicado anteriormente, el mecanicismo evitaba la difícil noción de acción a distancia. La palabra «acción», al menos en su sentido original y habitual, es *dinámica* y *sucesiva* en su carácter; la acción se desarrolla gradualmente en espacio, así como en tiempo, avanzando con velocidad finita de lugar en lugar. Esto es ciertamente incompatible con el concepto de acción instantánea que marcha con velocidad infinita. En verdad, la palabra «marchar» es aquí una simple figura de dicción; la acción a distancia está *simultáneamente presente* en todos los puntos de su «camino». La acción física así comprendida es más bien una *conexión estática* que una influencia dinámica; el propio nombre «dinamismo»

---

[3] Compárese capítulo VI, nota 18.

es más bien un nombre inadecuado. Además, la creciente evidencia física relegó gradualmente el concepto autocontradictorio de velocidad instantánea al reino de la ficción; primero el sonido, después la luz y, finalmente, los disturbios electromagnéticos, se demostró que marchaban con velocidades *finitas*.

Es cierto que la gravitación aparentemente no tenía velocidad finita, y la autoridad de Laplace, cuyo error de cómputo no se descubrió hasta 1901, fortaleció grandemente esta creencia [4]. Pero ¿es sorprendente que, incluso después del establecimiento empírico de la velocidad finita de las vibraciones electromagnéticas, persistiera la esperanza de que finalmente se demostraría que la acción de la gravedad se mueve de un lugar a otro a intervalos *finitos* de tiempo, sin que importe lo cortos que sean? Las dificultades lógicas inherentes a la noción de velocidad instantánea fortalecieron naturalmente esta esperanza mucho antes del advenimiento de la relatividad, que demostró que la gravedad no es una excepción en este aspecto. Hermann Lotze observó inteligentemente que la acción a distancia tiene lugar «detrás de la parte posterior del espacio»; podría haber añadido que también tiene lugar detrás de la parte posterior del tiempo [5]. En este sentido, no es sólo un concepto antiespacial, como lo denominaba Meyerson [6], sino también uno antitemporal. Pero ¿de qué sirve la denominada entidad física que, por su definición, está *más allá* del espacio y el tiempo? Al menos, ¿de qué sirve desde el punto de vista de la física clásica, para la que los conceptos tradicionales de espacio y tiempo eran considerados como *recipientes* de toda cosa física?

Esta no era la única dificultad. Según la explicación cinético-corpuscular de la naturaleza, toda cantidad aparentemente nueva de movimiento era simplemente una transformación de una cantidad equivalente del movimiento preexistente en una forma molecular oculta. Toda desaparición aparente del movimiento era también considerada simplemente como una conversión de movimiento en su equivalente invisible distribuido entre las partículas

---

[4] El cómputo de Laplace sobre la velocidad de la gravitación como *por lo menos* 50.000.000 de veces la velocidad de la luz se basaba en hipótesis erróneas. Compárese W. Wien, *Wiedemann's Annalen* (1901), pp. 501 y sig.

[5] H. Lotze, *Grundzüge der Naturphilosophie*, 2.ª ed. (Leipzig, 1889), p. 26. No obstante, Lotze no rechazaba la acción a distancia; en esta conexión su actitud es similar a la de los dinamistas Mill, Stallo y Mach (*Metaphysic*, pp. 316 y sig.).

[6] Meyerson, *Identité et Realité*, p. 85.

microscópicas. Así las leyes de la conservación de energía y de movimiento eran consideradas como descripciones cuantitativas de la *substancialidad* de movimiento, o sea, de su indestructibilidad e increabilidad. Como señalamos anteriormente, el inevitable corolario del mecanicismo era que toda energía es de naturaleza cinética, mientras que la energía «potencial» es una simple figura de dicción. Cuando los dinamistas se vieron obligados por la evidencia empírica a reconocer la velocidad finita de la transmisión de la energía electromagnética, se enfrentaron con la pregunta que ya hemos citado: ¿Cuál es el *status* de la energía viajera en el intervalo que media entre su emisión y su absorción? Sólo eran posibles dos alternativas: o la energía emitida persiste como energía cinética de las partículas etéreas o adquiere, al menos temporalmente, una nueva forma específica totalmente irreducible a movimiento. El mecanicismo aceptaba la primera alternativa y así poseía la ventaja definida de simplicidad lógica incorporada en la navaja de afeitar de Occam; mientras que el dinamismo añadía a la dualidad de materia y fuerza (dualidad que, como veremos en breve, no consiguió eliminar) la dualidad de dos tipos de energía: la cinética y la potencial.

Desde el punto de vista dinamista, la conversión de la energía cinética en energía potencial y viceversa había de ser considerada como una verdadera transformación *cualitativa*, casi en el sentido aristotélico, consecuencia que no fue mal recibida por la mentalidad aristotélica de Pierre Duhem [7]. Así, según Boscovich y sus seguidores, el movimiento nace de la fuerza, o sea, de algo que *no* es movimiento, y cuando desaparece se transforma en algo que *no* es movimiento. La ley de la conservación de energía se conserva formalmente, pero es evidente que cuando se abandona su interpretación cinética, casi volvemos a Aristóteles y a su idea de transformación cualitativa. Mientras que la homogeneidad de causa y efecto se conservaba en el esquema mecanicista, era claramente sacrificada por el dinamismo.

No es extraño que el carácter insatisfactorio del dinamismo fuese vagamente sentido por la mayoría de los físicos, incluso por los que no estaban claramente conscientes de la superioridad del mecanicismo. En realidad, era sentido por algunos filósofos de

---

[7] En su libro resueltamente antimecanicista *L'Evolution de la Mécanique* (París, 1905), DUHEM recomienda un retorno si no a la letra, al menos al espíritu de la física aristotélica. Compárese el capítulo "La physique de la qualité", pp. 197-208; también pp. 218-219.

inclinaciones claramente dinamistas. Así Kant, a pesar de su dinamismo, tuvo que recurrir a una explicación corpuscular del cambio de estado físico [8]; Faraday, a pesar de su simpatía por la teoría de Boscovich, mediante su oposición a la acción a distancia y su énfasis sobre la importancia de los procesos mecánicos en el medio intermedio, contribuyó grandemente al resurgimiento de la tendencia cartesiana a construir un modelo mecánico del éter [9]. Por último, Spencer, que tanto insistió sobre el carácter primario de la fuerza, rechazó con indignación la sospecha de que reconocía la energía potencial como forma autónoma de energía, irreducible a movimiento. Spencer era más dinamista en su lenguaje que en su pensamiento; esto es tanto más significativo por podérsele considerar como eslabón intermedio entre el dinamismo de Boscovich y el energitismo moderno [10].

Hay una tercera dificultad en el dinamismo que era justamente tan seria como las dos que acabamos de considerar. Boscovich sustituía las pequeñas partículas indivisibles del atomismo, que aún retenía Newton, por los simples puntos de radio cero. De este simple punto sin dimensión emanan las fuerzas repulsivas y atractivas, causando a diferentes distancias, según cuál de ellas prevaleciese, el fenómeno de impenetrabilidad o gravitación. Pero ¿abandonó realmente Boscovich la idea de partícula material? ¿No subsistió este concepto de alguna forma? Ciertamente afir-

---

[8] KURD LASSWITZ ("Die Rechtfertingung der kinetischen Atomistik", *Vierteljahrschrift für wissenschaftliche Philosophie*, IX, 1885, pp. 145-47) habla acerca del *atomismo latente* de los dinamistas. Señala cómo KANT en su libro *Vom übergange von den metaphysischen Anfangsgründern zur Naturwissenschaften* utilizaba las ideas corpusculares para explicaciones concretas —por ejemplo, para explicar la solidificación de los líquidos.

[9] Compáreso M. FARADAY, "A Speculation Concerning Electric Conduction and the Nature of Matter" en *Experimental Researchs in Electricity* (Londres, Taylor, 1839-55), vol. II, pp. 284 y sig., especialmente p. 290. Por otra parte, en su ensayo "Some Thoughts on the Conservation of Force", cita con aprobación la tercera carta de Newton a Bentley, en la que se rechaza la idea básica del dinamismo acerca de que la gravedad es una propiedad inherente a la materia, y añade: "No me opongo a Newton en ningún punto; los que le contradicen son más bien aquellos que sostienen la idea de acción a distancia". En *The Correlation and Conservation of Physical Forces*, por Grove, Helmholtz, Mayer, Faraday, Liebig y Carpenter (Nueva York, Appleton, 1871), p. 378.

[10] La idea de SPENCER acerca de que la materia es una manifestación de fuerza tiene una evidente similitud con la teoría de Boscovich, a la que SPENCER se refiere explícitamente *(First Principles*, 4.ª ed., pp. 54-57). Sin embargo, SPENCER rechazaba la idea de Boscovich de acción a distancia. Al menos se halla esto implícito en su interpretación de la gravedad como "fuerza etérea" (p. 190) y su negativa a considerar la energía potencial como autónoma e irreducible (apéndice, pp. 598-599).

mó que sus puntos materiales eran meramente centros de fuerza y que la denominada impenetrabilidad de las partículas se debe al prevalecimiento de la fuerza repulsiva dentro de cierto radio. Pero contra esto no va la objeción básica. Sus puntos materiales, aun cuando son considerados como simples centros de fuerza, son capaces de *movimiento en espacio*. Ahora bien, ¿qué se mueve exactamente en el espacio? ¿Cómo puede moverse un solo punto matemático con respecto a otros puntos en el espacio *sin diferenciarse de las posiciones temporales* que ocupa en los sucesivos instantes de su movimiento? Porque los puntos geométricos que constituyen el espacio no se mueven *por definición*, el movimiento, al menos en su sentido clásico, implica siempre la distinción entre una posición subyacente sin movimiento y su ocupante temporal. Diciendo que es el punto dinámico el que se mueve, y no el geométrico, los dinamistas simplemente vuelven a introducir bajo un nombre diferente la relación básica de *ocupación* que, como hemos visto anteriormente, es el verdadero núcleo del atomismo. El centro de fuerza ocupa entonces en el espacio cierta posición semejante a un punto; es un verdadero punto *material*.

Esto fue incluso admitido explícitamente cuando los dinamistas dotaron de *inercia* a sus puntos dinámicos, o sea, de la resistencia intrínseca a cualquier cambio de movimiento. En esta conexión el dinamismo difería del atomismo únicamente reduciendo a cero los radios atómicos; en otros aspectos, sus puntos dinámicos apenas eran diferentes de las partículas de radio finito. Se admitía que eran *inertes* como los átomos; en cierto sentido eran *rígidos*, puesto que conservaban su identidad a través del tiempo; y, finalmente, eran incluso *impenetrables*, porque eran indivisibles *ex definitione*; la fuerza repulsiva, siendo infinita en cada centro de fuerza, impide una fusión de dos partículas distintas. Es apenas sorprendente que algunos dinamistas se considerasen atomistas: tal fue el caso del propio Boscovich, como el de Faraday y Fechner [11].

Esto fue apenas una mejora sobre el atomismo clásico; por el contrario, el cambio fue para mal. Matemáticamente, es concebible que ciertas funciones continuas puedan hacerse en un punto discontinuas o poseer singularidad; pero es difícil ver cómo un

[11] FARADAY, *Experimental Researchs*, vol. II, pp. 284 y sig.; G. T. FECHNER, *Über die physikalische und philosophische Atomenlehre* (Leipzig, 1855). Sobre el desorrollo del dinamismo desde Leibniz a Spencer, compárese M. JAMMER, *Concepts of Force*, cap. 9.

cero geométrico, o sea, un punto sin dimensión, puede tener propiedades físicas concretas como la capacidad de movimiento, inercia o resistencia a la aceleración, la fuerza repulsiva de magnitud infinita y el poder mágico de producir movimiento instantáneamente a una distancia indefinida (como aún se creía en el caso de la gravitación) o gradualmente, después de cierto retraso de tiempo como en otras acciones físicas. Incluso en este último caso, cuando se admite la velocidad finita de propagación, persiste todavía la dificultad fundamental que acabamos de señalar. ¿Cómo puede producir movimiento algo que *no* es movimiento? Pues la esencia de la teoría dinamista es que el movimiento es siempre un *efecto* y nunca una causa; cualquier otro punto material se mueve porque es movido por una *fuerza* distante, y mueve a cualquier otro punto material por su propia fuerza; la homogeneidad de causa y efecto, que era una destacada faceta del mecanicismo, se ve así sacrificada.

Al principio parece como si la idea de Boscovich subyaciese en una gran parte de la física clásica, especialmente en la mecánica y en la teoría del electromagnetismo. Los «puntos materiales», así como las cargas eléctricas como puntos, sólo son, al parecer, recientes versiones de sus «puntos dinámicos». También es cierto que había muchos científicos y filósofos —Cavendish, Cauchy, Ampère, Poisson, Faraday, Fechner, Couturat y Russell [12]— que tomaban de manera totalmente literal la existencia de puntos físicos de radio cero. Pero ¿no es evidente que esto no es nada más que una cándida *reificación* de puntos geométricos, casi en el antiguo sentido pitagórico? ¿Y no es más natural considerar los denominados «puntos materiales» como meras aproximaciones e idealizaciones permisibles cuando el volumen de partículas,

[12] M. JAMMER, *loc. cit.*, L. Couturat en su crítica del libro de A. Hannequin *Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine* en *Revue de métaphysique et de morale*, vol. V (1897), p. 106; B. RUSSELL, *Principles of Mathematics*, p. 468: "Una simple unidad material ocupa un punto espacial en cualquier momento". La hipostatización de puntos geométricos se halla contenida en el siguiente pasaje de G. Cantor, citado con aprobación por A. GRÜNBAUM en *Analysis* XII (1951-52), p. 146: "A fin de conseguir una descripción más satisfactoria de la Naturaleza, los elementos últimos o auténticamente simples se deben postular como *realmente infinitos en número* y deben ser considerados *como totalmente desprovistos de extensión* y estrictamente semejantes a puntos" ("als völlig ausdehnungslos und streng punctuell zu betrachten sind"). Cantor se halla consciente de la similitud de su idea con las de Ampère, Faraday, Weber y Leibniz. Compárese G. CANTOR, "Über verschiedene Theoreme aus der Theorie der Punktmengen", *Acta Mathematica*, VII (1885), pp. 105-124.

aunque diferente de cero, es lo bastante pequeño para ser despreciado? Desde este punto de vista el concepto de masas o cargas como puntos es meramente un conveniente aparato metodológico adecuado para ciertas tareas teóricas; pero la hipostatización de tales conceptos límites conduce, como hemos visto, a enormes dificultades, tanto filosóficas como físicas.

Incluso el deseo de respetar la ley de la continuidad, que fue uno de los motivos básicos de Boscovich cuando rechazó la transición discontinua de la densidad cero del vacío a la densidad infinita del interior del átomo, se ve finalmente frustrado por el hecho de que la propia fuerza se hace infinita en el centro de fuerza. La hipótesis de partículas que tienen radios finitos evitaba todas estas dificultades, era epistemológicamente aceptable porque no confundía una entidad matemática ideal con la realidad física, y estaba de acuerdo con la idea cinético-corpuscular de la naturaleza. Y lo que era incluso más decisivo, esta hipótesis se veía confirmada por la experiencia física, que demostraba de manera más convincente cada vez que las partículas elementales que subyacen en la materia y la electricidad no son ni simples puntos ni tienen instantáneamente acción recíproca. El descubrimiento del radio finito del electrón, produciéndose solamente unas cuantas décadas después del descubrimiento de la velocidad finita de las vibraciones electromagnéticas, fue el golpe final para las formas supervivientes de la teoría de Boscovich.

El energicismo.

En el período en que la teoría electromagnética de la luz sustituyó a la antigua teoría mecánica de Huygens y Fresnel, y especialmente cuando se estableció la existencia de los electrones, tuvo lugar una fuerte reacción contra la física mecanicista. El desarrollo de la propia física contribuyó grandemente a esta reacción. Si la luz es únicamente cierto tipo de vibración electromagnética, ¿tiene algún sentido persistir en buscar un modelo mecánico del éter? ¿No es sustituido el modelo mecánico original del éter por un nuevo éter electromagnético? Además, si toda materia se compone de elementos que son de naturaleza eléctrica, ¿no es la electricidad, en lugar de la materia, la realidad física fundamental? ¿No son las denominadas impenetrabilidad e inercia de la materia clásica meramente manifestaciones pecu-

liares de la energía electromagnética? Tales eran las preguntas que empezaron a aflorar en la última década del siglo XIX y en la primera década del siglo XX. De una manera definida reflejan la tendencia a considerar el mecanicismo clásico, incluyendo el atomismo, como una idea absoluta que debe ser sustituida por la idea energética, o más específicamente, *electromagnética* de la naturaleza.

Esta tendencia se vio fortalecida por las consideraciones epistemológicas de varios científicos y filósofos que acentuaban el carácter económico y convencional de los conceptos físicos básicos y el acondicionamiento biológico de nuestro pensamiento. Para mencionar al menos algunos representantes de esta trayectoria: En Alemania, Ernst Mach insistía en que la preferencia por las explicaciones mecánicas en la física no es nada más que un prejuicio, en parte excusable a causa de sus orígenes históricos y sus éxitos pasados. Según él, el concepto del átomo es un artificio mental, un aparato hipotético que no debe ser considerado como réplica fiel de la realidad física. En los Estados Unidos J. B. Stallo, contemporáneo de Mach, señaló las extremadas dificultades que experimentaba cualquier aplicación consistente de los principios del mecanicismo [13]. El tremendo prestigio de la ley de la conservación de energía, basado en su fructuosidad en la interpretación de varios fenómenos naturales, condujo a algunos destacados pensadores del pasado siglo, en particular a Herbert Spencer, a considerar esta ley como la expresión más verdadera de la última realidad, y así contribuyó al nacimiento del energicismo, en el que Wilhelm Ostwald veía una patente derrota del materialismo y la quiebra definitiva del atomismo [14].

Sin embargo, toda la ruidosa reacción contra el mecanicismo y atomismo clásicos era prematura, y hoy, desde la distancia de sesenta años, sabemos por qué: antes del advenimiento de la teoría de la relatividad y la teoría de los *quanta*, era imposible repudiar efectivamente el tejido conceptual clásico. Además, todo el movimiento antimecanicista era mucho más ambiguo y heterogéneo que lo que parecía. Es instructivo e incluso divertido ver cómo algunas ideas básicas del mecanicismo eran tácitamente supuestas hasta por algunos energicistas sumamente resueltos. En esta cone-

---

[13] E. MACH, *The Science of Mechanics*, 590, 597-98; J. B. STALLO, *op. cit.*, *passim*.

[14] W. OSTWALD, *Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus* (Leipzig, 1895).

xión hay cierta similitud entre el energicismo moderno y el dinamismo del siglo XVIII; en realidad, el uno puede ser considerado como una continuación modificada del otro. Puede seguirse el rastro de la transición, especialmente en el pensamiento de Robert Mayer y Herbert Spencer. Esta principal diferencia radicaba en que la *energía* y no la *fuerza* era convertida en la entidad substancial fundamental por los energicistas modernos; el hecho de que utilizaban el término «fuerza» y hablaban de la «ley de conservación de fuerza» era insignificante; querían decir *energía* [15]. Pero es significativo que algunas facetas básicas de la idea cinético-corpuscular clásica se hallaran claramente presentes en la mente de los energitistas. Para Herbert Spencer, la ley de la evolución es la ley de la redistribución continua de la materia y el movimiento. He aquí sus propias palabras [16]:

El cambio de un estado difuso o imperceptible a un estado concentrado y perceptible es una integración de materia y una disipación concomitante de movimiento; y el cambio de un estado concentrado y perceptible a un estado difuso e imperceptible es una absorción de movimiento y una desintegración concomitante de materia. Estos son truísmos. Las partes constituyentes no pueden agregarse sin perder algo de su movimiento relativo; y no pueden separarse sin dárseles más movimiento relativo. ... Cuando son tomados en conjunto, los dos procesos opuestos así formulados constituyen la historia de toda existencia sensible, bajo su forma más simple. Pérdida de movimiento e integración consecuente, seguidas, finalmente, por adquisición de movimiento y desintegración consecuente —véase aquí una declaración que comprende toda la serie de cambios experimentados; la comprende de una

---

[15] No es enteramente justo acusar a Spencer de "vaguedad extremada y laxitud casi sin igual en el uso del término fuerza", como hace M. JAMMER *(op. cit.*, p. 186). Es cierto que Spencer utiliza este término en tres sentidos diferentes, pero todos están cuidadosamente definidos y diferenciados: *a)* "Fuerza que ocupa espacio", que es "pasiva y dependiente"; está claro que éste es sólo otro término que denota impenetrabilidad; *b)* Fuerza que se manifiesta en movimientos, ya molares o moleculares. Spencer se halla perfectamente consciente de que este tipo de fuerza se llama "energía" *(op. cit.*, p. 195). *c)* El tercer significado es filosófico: "Fuerza" o "Poder Ultimo" es una designación de la correlación noumenal de todas las manifestaciones fenoménicas, y como tal es insignificante para consideraciones físicas. Si acusamos a Spencer de utilizar el término "fuerza" para lo que hoy llamamos "energía", deberíamos ser igualmente severos con un número de destacados físicos de su época. que hicieron lo mismo incluso en los títulos de sus libros: R. MAYER, *Bemerkungen über die Kräfte unbelebten Natur* (1842); H. HELMHOLTZ, *Über die Erhaltung der Kraft* (1847); M. FARADAY, "Some Thoughts on the Conservation of Force" (1871), y, en fecha tan reciente como la de 1909, el estudio histórico de HAAS, *Die Entwicklungsgeschichte des Satzes über die Erhaltung der Kraft.*

[16] H. SPENCER, *op. cit.*, p. 291.

manera extremadamente general, como debe hacerlo cualquier declaración que abarque las existencias sensibles en general; pero, no obstante, la comprende en el sentido de que todos los cambios experimentados caen dentro de ella.

Los antiguos atomistas apenas podían haber expresado de manera más definida su creencia básica de que todo cambio es reducible al proceso de redistribución de materia y movimiento. Spencer creía en la constancia de la materia y la indestructibilidad del movimiento; también creían en esto los atomistas. Spencer rechazó la pluralidad cualitativa irreducible de los elementos químicos reconocida por Helmholtz y la mayoría de los científicos del siglo XIX. La rechazó porque creía en la unidad básica de la materia; también creían en ella los atomistas. Spencer no admitía la energía potencial como forma autónoma porque la consideraba como forma disfrazada de la energía cinética; también la consideraban así los atomistas [17]. Acentuaba la importancia de la «ley de persistencia de fuerza» (o sea, de energía), que consideraba como ley física suprema. Es cierto que el concepto de energía era desconocido para los antiguos atomistas; pero al menos lo preveían cualitativamente, y fue uno de los atomistas modernos, Christian Huygens, quien hizo la contribución más significante para su formulación exacta.

¿Cuál era entonces la diferencia entre el mecanicismo y el dinamismo de Spencer? Radica en la afirmación de Spencer acerca de que la *energía* es la realidad física básica y que lo que llamamos materia es únicamente su manifestación. Sin embargo, a pesar de esta afirmación energicista, Spencer reconocía la dualidad de «fuerza que ocupa espacio», que es «pasiva e independiente», y «fuerza que se mueve», que es «activa, pero dependiente de sus relaciones pasadas y presentes con otros átomos» [18]. ¿Cuál es la diferencia entre esta fuerza que ocupa espacio de Spencer y la *vis insita* de Newton o la *impenetrabilidad* de los atomistas? La diferencia es puramente semántica. En cualquier caso, la afirmación de Spencer de que la reducción de los datos a sus términos más inferiores producirá «*la unidad de materia, o átomo, y su movimiento*» [19] no se puede distinguir del mecanicismo clásico del tipo menos transigente.

---

[17] H. Spencer, «M. Martineau on Evolution», *Contemporary Review*, XX (junio 1872), p. 143. Sobre la idea de energía potencial de Spencer, véase nota 10.

[18] Véase nota 15.

[19] H. Spencer, *op. cit.*, p. 196.

El ejemplo de Spencer es instructivo porque indiscutiblemente fue uno de los filósofos más influyentes de finales de siglo. Muestra cómo una gran parte del pensamiento filosófico se veía invadida por la influencia de la física clásica. En comparación con Herbert Spencer, Wilhelm Ostwald es ciertamente menos filosófico. Spencer siempre acentuó el carácter fenoménico de su «fuerza» física, que para él era solamente un símbolo de la última realidad incognoscible. Es cierto que esta sutil distinción epistemológica se ve casi borrada por otro pasaje en el que se afirmaba que para fines prácticos la «realidad absoluta» y sus manifestaciones fenoménicas son equivalentes [20]; esto explica por qué la principal orientación del pensamiento de Spencer, a pesar de algunas precauciones verbales, sigue siendo fisicista, si no materialista. Pero en Ostwald incluso tales precauciones verbales se hallan ausentes, y su energía se identifica con la última realidad metafísica. En esta conexión, su «energicismo» es un materialismo ligeramente disfrazado, como observó Driesch [21]. A la substancia material de Lamettrie y Büchner sustituía el no menos físico concepto de energía substancializada. Pero en cuanto se refiere a la idea del mundo físico, apenas hay diferencia entre Spencer y Ostwald; ambos creían que la materia es meramente una manifestación de la energía y que no se puede percibir nada más que en sus manifestaciones energéticas. En este sentido, prepararon filosóficamente el camino para la posterior fusión relativista de materia y energía; pero como no se apartaron de la mecánica clásica, su intento fue necesariamente prematuro e ineficaz. Pues en el pensamiento de Ostwald, lo mismo que en el de Spencer, las presuposiciones básicas del mecanicismo, incluyendo el concepto de substancia material, se conservaban tácitamente. Pierre Duhem, del que apenas se podría sospechar que tuviese inclinación promecanicista y que pertenecía al grupo de los energicistas, señaló de manera convincente que el razonamiento de Ostwald, en vez de excluir el concepto de substancia material, lo presupone realmente [22]. Pues todo movimiento presupone una cosa que se mueve, y la *energía cinética*, por definición, presupone la masa. Mientras se reconozca la validez de la fórmula $E = 1/2\ mv^2$, se admite implícitamente el concepto de los substratos materiales del movimiento.

---

[20] *Ibid.*, p. 165.
[21] H. Driesch, *Naturbegriffe und Natururteile* (Leipzig, 1904), p. 106.
[22] P. Duhem, *L'Evolution de la mécanique*, p. 179.

Los descubrimientos de finales del siglo XIX, que suscitaron nuevas dudas acerca de la suficiencia de la idea mecanicista del mundo, eran mucho más ambiguos que lo que estaban dispuestos a reconocer los oponentes del mecanicismo. Así la teoría electromagnética de la luz no desbarató el concepto del éter; simplemente agregó el adjetivo «electromagnético» al antiguo nombre de Huygens y Fresnel. Por tanto, la pregunta de importancia fundamental era ésta: ¿Pueden o no describirse las propiedades de tal éter en términos de la mecánica clásica? La historia de las teorías del éter en la segunda mitad del siglo XIX indica que casi todos los intentos de explicar los fenómenos de la luz y del electromagnetismo fueron inspirados por la esperanza de que se podría construir un modelo mecánico satisfactorio del éter. El propio término «vibración» se tomó de la mecánica y naturalmente sugería la idea de un medio elástico en el que pueden surgir las ondas de varias longitudes. La mecánica del éter no parecía ser nada esencialmente diferente de la mecánica del medio elástico.

En fecha tan reciente como la de 1881, William Thomson manifestó con verdadero espíritu cartesiano que, lo mismo que el calor, la elasticidad es probablemente un «modo de movimiento» [23]. Las inclinaciones cartesianas de James Clerk Maxwell, el autor de la teoría electromagnética de la luz, han sido ya mencionadas; las mismas inclinaciones se hallan presentes en Heinrich Hertz, que victoriosamente probó su teoría mediante experimento. Según él, los conceptos básicos y suficientes de la física son el *espacio*, el *tiempo* y la *materia en movimiento;* el concepto de energía se deriva de estos conceptos básicos, y el concepto de fuerza es totalmente superfluo. Es verdad que, a fin de explicar ciertos fenómenos, es necesario, según Hertz, postular «masas ocultas» y «movimientos ocultos», pero su *única* diferencia de las masas visibles y movimientos visibles es que no son percibidos por los sentidos humanos. Era difícil rechazar el dinamismo y el energicismo más explícitamente y exponer el programa de la explicación mecanicista más claramente.

Este programa, como observó Duhem, seguía siendo en gran manera un simple programa [24], y el hallazgo de un modelo satisfactorio del éter que explicase *toda* acción recíproca dinámica

---

[23] W. THOMSON, "Steps toward Kinetic Theory of Matter", *Popular Lectures and Addresses* (Nueva York, Macmillan, 1891-94), I, pp. 218-252; especialmente pp 243-44.

[24] H. HERTZ, *Die Principien der Mechanik* (Leipzig, 1884), p. 30; P. DUHEM, *op. cit.*, pp. 157-168.

entre cuerpos visibles resultaba ser extremadamente difícil; pero esto simplemente hace epistemológicamente más significativa la persistencia de la búsqueda. Ciertamente, la teoría electromagnética de la luz, al menos en su forma clásica, era considerada como continuación de las tendencias del mecanicismo clásico más que como contraria a ellas.

Lo mismo sucede con la teoría del electrón, que, al menos en su primera etapa, era una clara vindicación del pensamiento atomístico. Es cierto que el átomo sólido daltoniano se rompió en partículas mucho más pequeñas —electrones y protones— que parecían ser los últimos elementos constituyentes de la materia, así como de la electricidad. Aparentemente, por tanto, la materia se reducía a electricidad. Pero cuando la naturaleza del electrón y el protón fue estudiada más minuciosamente, se suscitó una pregunta que era similar a la que tenían ante sí los físicos con respecto a la constitución del éter: ¿Se reducía la materia a electricidad o viceversa? ¿No son los electrones, después de todo, *partículas rígidas*, que poseen las mismas facetas básicas que las partículas indivisibles del atomismo clásico, aunque en escala mucho más pequeña? Es ciertamente significativo que el primer nombre dado al electrón por uno de sus descubridores, J. J. Thomson, fuese *corpúsculo* [25]. Esto parecía indicar que los electrones eran considerados como si tuviesen las mismas propiedades básicas que las partículas del atomismo clásico: ocupación de espacio, inercia, indivisibilidad. Aparentemente la evidencia empírica señalaba en esta dirección: los electrones, aunque extremadamente pequeños, parecían poseer un radio finito diferente de cero, o sea, 10^{-13} cm; J. J. Thomson midió la proporción de su masa con su carga y la halló constante; la búsqueda de Ehrenhaft acerca de la existencia de *subelectrones*, o sea, de partículas que sólo tuviesen una fracción de la carga electrónica, resultó fútil [26].

Por otra parte, el movimiento del electrón, que aún retenía Abraham, como partícula material rígida a la que se adhiere su carga electrónica, apenas era satisfactorio. Era una noción híbrida, que incongruamente combinaba la idea atomística de la partícula material rígida con la idea dinamista de la fuerza. Esto era tan

---

[25] N. R. Campbell, *Modern Electrical Theory* (Cambridge, 1914), p. 110; E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. I, pp. 361-66.

[26] Sobre los experimentos de Ehrenhaft, compárese R. Bär, "Der Streit um das Elektron", *Naturwissenschaften*, Bd. 10 (1922), pp. 344-350.

insatisfactorio como cuando la mayoría de los físicos del siglo XIX aceptaron la idea de partículas duras de Newton, de las que misteriosamente emanan las fuerzas *à la* Boscovich; o cuando John Dalton imaginó las propiedades cualitativas irreducibles de los elementos químicos aferrándose a los átomos duros. No sólo quedaba inexplicado, sino que era inexplicable cómo y en qué sentido la carga eléctrica «se adhiere» a la superficie del átomo de Abraham, y Hermann Weyl tenía razón cuando calificó a tal noción de «grotesca candidez» [27].

Es cándida no sólo desde el punto de vista de la física moderna, sino también desde el punto de vista clásico. Para un mecanicista consistente era intolerable toda la noción de la distinción básica e irreducible entre materia y fuerza (en este caso, entre masa y electricidad). Contradecía a las hipótesis básicas del mecanicismo expuestas en el capítulo VI. Para un mecanicista consistente solamente había una posible salida; eliminar la denominada dualidad de materia y electricidad y considerar a éstas como manifestaciones particulares de un solo e idéntico medio mecánico que penetra en todo: el *éter*. En otras palabras, el éter había de explicar no sólo todos los ejemplos de acción recíproca dinámica entre los propios cuerpos, *sino también la individualidad de las partículas físicas básicas.*

Las teorías de la fluidez de la materia.

La tendencia a disolver la individualidad de las partículas básicas de la materia en la unidad de un medio cósmico que penetra en todo tiene una larga tradición en el pensamiento clásico. Se halla relacionada con la denominada *teoría de la fluidez de la materia*, cuyo rastro se puede seguir hasta Descartes y Hobbes. Descartes se negó a considerar la solidez como última propiedad de la materia; ésta fue una de las razones por las que siguió oponiéndose al atomismo. Sus sucesores Malebranche y Papin explicaron la aparente solidez de los átomos mediante un *motus conspirans*, o sea, mediante la presión del medio circundante [28]; en tal idea, el término «átomo» no era más que una figura de dicción. Más recientemente, la teoría de «átomos-vórtices», de Wil-

[27] H. Weyl, *Was ist Materie?* (Berlín, 1924), p. 18.

[28] Huygens, *Oeuvres complètes*, vol. IX (La Haya, 1901), p. 429; Paul Mouy, *Le Développement de la physique cartésienne* (París, 1934), pp. 282-92.

liam Thomson, que fue propuesta en 1867 y atrajo gran atención, continuaba siendo de espíritu cartesiano [29]. Según esta teoría, el universo está lleno de un líquido homogéneo, uniformemente denso y perfectamente móvil, dotado de inercia. Su movimiento se rige mediante las ecuaciones de Euler, que a su vez se deducen del principio de D'Alembert; lo que llamamos átomos son únicamente constantes formaciones girostáticas dentro de este fluido cósmico. La teoría se basaba en el descubrimiento matemático de Helmholtz acerca de que tales núcleos-vórtices dentro del perfecto fluido son *permanentes*, o sea, indestructibles e increables: que su volumen es *constante;* que son mutuamente *impenetrables;* que su forma puede variar incluso cuando su volumen es constante; por consiguiente, al contrario que los átomos de Lucrecio y Gassendi, son capaces de *movimiento vibratorio interno*. A excepción de la última propiedad, los «núcleos-vórtices» simulan las más importantes facetas de los átomos sólidos.

En la extensión de este capítulo no sería posible describir las esperanzas que fueron suscitadas por esta teoría y la consiguiente desilusión; sea suficiente decir que el espíritu de William Thomson se hallaba vivísimo incluso a la hora de su muerte, cuarenta años más tarde. Después del descubrimiento del electrón, el problema se vio simplemente desviado hacia otro punto. Admitido que la materia se reduce a electricidad atomísticamente concebida, aún queda esta pregunta: ¿No es el electrón, que es la última unidad de la materia y la electricidad al mismo tiempo, simplemente cierta configuración dentro del medio mecánico continuo del éter? En fecha tan reciente como la de 1909 Oliver Lodge, en un libro de espíritu totalmente kelviniano, *The Ether of Space*, cita con aprobación las siguientes palabras de J. J. Thomson:

> Toda la *masa* de cualquier cuerpo es justamente la masa de éter que rodea al cuerpo, que es conducida por los tubos Faraday asociados con los átomos del cuerpo. En realidad, toda masa es la masa del éter; todo movimiento, el movimiento del éter, y toda energía cinética, la energía cinética del éter [p. 116].

El libro posterior de Oliver Lodge, *Ether and Reality*, está

---

[29] W. THOMSON, "On Vortex Atoms", *Proc. Royal Soc. Edinburgh* (18 de febrero de 1867). Sobre el carácter cartesiano de la teoría de W. THOMSON, K. LASSWITZ, "*Über Wirbelatome und stetige Raumerfüllung*", *Vierteljahrschr. f. wissenschaftl. Philosophie*, III (1879), p. 275; E. MEYERSON, *Identité et Réalité*, pp. 279-80; P. DUHEM, *op. cit.*, p. 177.

animado por el mismo espíritu. En el capítulo significativamente llamado «La materia como una de las formas de la energía del éter», expuso de nuevo la misma idea:

> Los electrones y protones son las piedras constructivas de que se compone la materia. El átomo de la materia se compone de ellos, y toda materia se compone de átomos. Los electrones se componen, evidentemente, de éter, porque la masa que tienen, cualquiera que ésta sea, se representa por la energía de su campo eléctrico, que es ciertamente un fenómeno etéreo; y aparte de este campo, no parecen tener ninguna otra existencia [p. 137].

El hecho de que esto fue escrito en fecha tan reciente como la de 1925 meramente indica cuán persistentes eran las tendencias mecanicistas, incluso cuando la reputación de los modelos mecánicos del éter se veía seriamente deteriorada por la teoría de la relatividad. En Lodge, lo mismo que en Maxwell y William Thomson, podemos seguir el rastro de la antigua idea cartesiana del medio sutil que penetra en todo, homogéneo y semejante a un fluido, del cual la materia ordinaria es solamente una particular modificación estructural o cinética. La idea mecanicista de la homogeneidad de la materia ha sido sostenida de una manera plena y consistente por tales teorías, en las que la dualidad de materia y electromagnetismo ha sido únicamente aparente y superficial, absorbiéndose en la unidad del medio etéreo que subsyace en ambos.

Pero ¿no amenazó el concepto de éter fluido continuo a otras dos propiedades fundamentales de la materia clásica, o sea, su *discontinuidad* y su *solidez?* ¿No se disuelven las partículas, ya se llamen átomos o electrones, en la continuidad del éter que en todo penetra? ¿No se ve desbaratada por todas las teorías hidrodinámicas del éter y las «teorías vórtices» de la materia la distinción fundamental reconocida por el mecanicismo clásico: la distinción de lo *lleno* y lo *vacío?* A primera vista, la respuesta a esta última pregunta parecía ser afirmativa; en particular, numerosos físicos británicos lo creían así. Algunos de ellos estaban influidos por las especulaciones teosóficas, y su misticismo del éter era solamente una versión modificada del misticismo del espacio de los discípulos de Newton, Clarke y Bentley [30]. Pero la princi-

---

[30]. O. LODGE, *Ether and Reality*, cap. X, "Life and Mind and Their Use of the Ether", con las citas características de Newton, Larmor y Maxwell.

pal razón que les condujo a creer esto fue que no analizaron suficientemente el término «fluido». Hay dos posibles ideas: la continuidad y fluidez del líquido etéreo pueden ser consideradas: 1) como última e irreducible cualidad de la naturaleza o 2) como efecto macroscópico de las extremadamente pequeñas partículas de rápido movimiento. La primera idea implicaría un retorno ligeramente disfrazado a Aristóteles, para quien la «liquidez» era una de las cualidades básicas y últimas de la naturaleza, como el «calor», la «frialdad» y la «sequedad». Una idea similar se hallaba presente en la teoría de Giordano Bruno acerca del éter, que, según él, era comparable al agua y cuya adhesividad explica las fuerzas cohesivas entre los átomos materiales [31].

La segunda idea fue adoptada por Demócrito y sus seguidores del siglo XVII. Acepta la estructura discontinua de la naturaleza, incluyendo la materia etérea a la vez que la realidad del vacío entre los átomos etéreos. Borelli había ya manifestado explícitamente que las partículas individuales de cualquier líquido *no* son en sí fluidas: *partes fluidum corpus componentes fluidae non sunt* [32]; en otras palabras, los líquidos se componen, en definitiva, de pequeños corpúsculos discretos. Aún más significativa era la demostración experimental de Richard Hooke acerca de que, cuando las pequeñas partículas de alguna substancia sólida —por ejemplo, los granos de arena— se ponen en violento movimiento vibratorio, la masa total adquiere todas las propiedades conocidas de una substancia líquida.

Por este medio, la arena en el plato, que antes era como un cuerpo muerto e inactivo, se convierte en un líquido perfecto; y tan pronto como se hace en él un agujero con el dedo, vuelve a llenarse inmediatamente, y se nivela su superficie superior. Y no se puede enterrar en él un cuerpo ligero, como un trozo de corcho, pues luego emerge o flota, como si estuviese encima; ni se puede poner encima de él uno más pesado, como un trozo de plomo, pues inmediatamente se entierra en la arena y se hunde al fondo. Ni se puede hacer un agujero en el costado del plato, pues la arena se saldrá hasta nivelarse. No es una propiedad obvia de un cuerpo fluido como tal, pero imita a ésta; y todo esto es simplemente causado por la agitación violenta de la vasija re-

---

[31] LASSWITZ, *Geschichte der Atomistik*, I, pp. 377-80.

[32] Citado por Lasswitz, *ibid.*, II, p. 307; I. NEWTON, *Opticks*, lib. III, tema 31: "Todos los cuerpos parecen estar compuestos de partículas duras; de lo contrario, los fluidos no se congelarían".

cipiente, porque, por este medio, cada grano de arena llega a tener un movimiento vibratorio o bailarín ...[33].

De manera análoga, Descartes señaló, al anticipar la teoría cinética de la materia, que la diferencia entre la substancia sólida y la líquida radica en la diferencia del movimiento interno de las moléculas respectivas, teniendo las partículas de la última una mayor movilidad que las de la substancia sólida[34]. Es cierto que Descartes no aceptaba, como hacía Gassendi, la existencia del vacío; y hemos visto que los que consideraban el éter como líquido que llena continuamente todo el espacio le iban siguiendo los pasos. Pero, como veremos, ni Descartes ni sus seguidores eran consistentes en esta conexión. Descartes, en sus explicaciones concretas, utilizaba siempre el lenguaje corpuscular y no lo reconcilió de una manera definida con su negación del vacío. Su lenguaje le traicionaba; dentro de su *plenum* completo no es posible ningún movimiento ni ninguna diferenciación, como algunos de sus críticos modernos señalaron convincentemente, y como reconocieron incluso algunos de sus discípulos. Este era el caso de Gerard de Cordemoy, que se apartó de la idea cartesiana de espacio continuamente lleno hacia el atomismo[35]. Pero fue Christian Huygens quien aplicó la estricta interpretación cinético-corpuscular del estado líquido de la materia al propio éter y quien explícitamente insistió sobre la solidez de los átomos del éter separados por los pequeños intersticios del vacío real. De manera análoga, un siglo después de Huygens, Lesage, en su *Lucrèce newtonien*, postuló el éter discontinuo que se compone de las rápidas partículas voladoras cuyo impacto sobre los cuerpos de materia ordinaria se suponía que explicaban el hecho de la gravitación[36].

En el siglo XIX los físicos se sentían menos inclinados a hablar de la estructura atómica del éter, y muchos de ellos tomaban totalmente en sentido literal la expresión «continuidad del éter». Esto sucede ciertamente con William Thomson. Sin embargo, no debemos perder de vista que, a finales de siglo, la constitución molecular de los líquidos y gases era generalmente reconocida; prácticamente nadie se atrevía a negar que las moléculas de H_2O

---

[33] Citado por W. BRAGG, *Concerning the Nature of Things* (Nueva York, Harper, 1925), pp. 16-17.
[34] DESCARTES, *Principia Philosophiae*, II, 54, 56.
[35] LASSWITZ, *Geschichte der Atomistik*, II, pp. 417-19; P. MOUY, *op. cit.*, 103.
[36] Compárese nota 13 del capítulo VI.

eran las mismas en el hielo, el agua líquida y el vapor de agua. Se aceptaba que la denominada continuidad del agua o de cualquier líquido era simplemente un aparato matemático que nos permite tratar de enormes agregados moleculares en vez de las moléculas individuales, que son demasiado numerosas y se mueven demasiado rápidamente para poderles seguir el rastro individualmente. El mismo método se aplicaba en la teoría cinética de los gases y la teoría electrónica de la corriente eléctrica.

En todos los campos de los fenómenos naturales, varios fluidos, que eran simplemente descendientes disfrazados de uno u otro de los elementos aristotélicos, se desintegraban rápidamente en sus constituyentes corpusculares reales. La teoría cinética de la materia sustituyó al misterioso calórico moviendo las partículas sólidas y redujo así las diferencias entre los tres estados físicos a diferencias puramente cualitativas del movimiento molecular interno y de las distancias intermoleculares. La denominada fluidez de los líquidos y gases y de la corriente eléctrica fue reconocida como fenómeno superficial que oculta a nuestros sentidos la verdadera discontinuidad de partículas discretas y de rápido movimiento. No voy a mencionar otro fluido —el flogisto— porque su sustitución por las partículas discontinuas del oxígeno y de otros elementos ya se había conseguido a principios del siglo XIX. Ciertamente sería extraño, después de esta bancarrota general de todas las teorías fluidas, tratar al fluido etéreo como caso excepcional. Era incomparablemente más plausible interpretar su denominada fluidez y continuidad en el mismo sentido cinético-corpuscular que para todos los otros «fluidos».

Este punto era percibido más claramente por los filósofos que por los científicos, especialmente por los filósofos que se hallaban conscientes de las sospechosas raíces históricas del término «fluido» y que veían su incompatibilidad con el consistente esquema mecanicista. Esto sucedía especialmente con el historiador del mecanicismo, Lasswitz, que señaló correctamente que incluso las teorías vórtices de los átomos no implicaban necesariamente el abandono de la discontinuidad de la materia; sólo reducían enormemente el verdadero tamaño de los átomos identificándolos con las partículas del medio etéreo [87]. Los modelos hidrodinámicos de la

---

87 LASSWITZ, "Über Wirbelatome...", pp. 206-215; 275-294, especialmente p. 279 y sig.; A. HANNEQUIN, *Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine*, p. 245: "La particule d'éther apparaissait donc bien, au terme de l'analyse, comme l'atome véritable...".

gravitación propuestos a finales de la era clásica en la física diferían del modelo hidrodinámico del éter de Huygens o de Hooke, propuestos dos siglos antes, más en detalle que en substancia: pues mientras que Huygens postulaba explícitamente la atomicidad de su éter, el mismo postulado se hallaba implícitamente presente en el propio término «líquido» utilizado por James C. Maxwell, William Thomson, C. A. Bjerknes, Korn y otros [38]. Maxwell fue incluso más explícito acerca de este asunto cuando admitió, aunque de manera vacilante y con gran medida de cautela, la estructura discontinua del éter [39]; pero también había algunos físicos que la aceptaban en el verdadero espíritu del atomismo clásico, de manera explícita y ambigua. Uno de ellos, por ejemplo, era Osborne Reynolds, cuya *Sub-Mechanics of the Universe* apareció en fecha tan reciente como la de 1903, cuando estaba ya muriendo la física clásica.

Los físicos que insistían rigurosamente sobre la continuidad del fluido etéreo, llenando por completo todo el espacio, se enfrentaron con otra seria dificultad: ¿Cómo es posible el movimiento en el *plenum?* Este problema emergía en los propios albores del pensamiento occidental. Tanto la escuela de Elea como los atomistas coincidían en que el movimiento en el *plenum* es imposible; pero mientras que los eleáticos Parménides y Zenón sacaban la conclusión de que el movimiento no existe, los atomistas Leucipo y Demócrito deducían la existencia del vacío de la misma premisa, a fin de hacer posible el movimiento. Aunque, desde el siglo XVII, la tradición atomística había venido prevaleciendo en general, un considerable número de físicos y filósofos afirmaban que la existencia del *plenum* es compatible con la existencia del movimiento. La actitud del joven Bertrand Russell en su libro acerca de Leibniz es bastante representativa de este grupo:

Sin embargo, sobre un punto menor, o sea, la posibilidad de un movimiento en un *plenum*, Leibniz está indiscutiblemente en lo cierto. Locke había mantenido que debe haber espacio vacío, o, de lo contrario, no habría lugar para el movimiento. Leibniz replica correctamen-

---

[38] Sobre la teoría de la gravitación de Hooke, compárese J. C. MAXWELL, "Attraction", *Scientific Papers*, II, p. 490. Sobre las teorías de la gravitación de Bjerknes y Korn, compárese E. T. WHITTAKER, *op. cit.*, I, pp. 284-85.

[39] MAXWELL, "Ether", *op. cit.* II, p. 774: "El éter, si es un medio de los fenómenos electromagnéticos, *es probablemente molecular*, al menos en este sentido" (o sea, contiene vórtices moleculares. Hemos añadido la cursiva). Compárese MARY B. HESSE, "Action at a Distance in Classical Physics", *Isis*, vol. 46 (1955), p. 337.

te... que si la materia es fluida esta dificultad queda eliminada. En realidad, debe ser evidente, incluso para el no matemático, que para un fluido es posible el movimiento en un circuito cerrado. Es una lástima que los filósofos no hayan querido repetir este argumento, para dispersar el cual sería suficiente una semana de estudio de hidrodinámica. La respuesta completa a él se contiene en lo que se llama la ecuación de continuidad[40].

La idea de Russell es característica de esos físicos para quienes la avanzada preparación matemática es un estorbo más que una ventaja, porque no se ve suplementada por la voluntad de analizar histórica y epistemológicamente ciertos instrumentos conceptuales de la física teórica. El concepto de un perfecto fluido es un instrumento conceptual cuya utilidad no debe hacernos ciegos a su carácter ficticio y artificial. Los defensores modernos del *plenum* se resistían naturalmente a seguir a sus antecesores filosóficos griegos negando la realidad del movimiento; tenían una mentalidad demasiado empírica para llegar a tal extremo. Pero sin darse cuenta de que la continuidad de cualquier fluido es un fenómeno macroscópico y superficial que oculta a nuestros sentidos su microestructura corpuscular, naturalmente no se percataban de que, como señaló John Locke, el movimiento de las partículas fluidas es posible a causa de los pequeños intersticios de vacío entre ellas; por consiguiente, su principal esfuerzo se dirigía a establecer la compatibilidad del *plenum* absoluto con la realidad del movimiento. La solución de la dificultad que proponía era muy antigua, mucho más antigua que lo que observaba Russell; fue propuesta veinte siglos antes de Leibniz por Aristóteles, que en su *Physics* señaló que un movimiento circular, a manera de remolino, es posible dentro de un fluido sin necesidad de postular espacio vacío. La misma afirmación fue hecha más tarde por Descartes, que, en su oposición a los átomos y al vacío, seguía de cerca a Aristóteles[41].

Ahora bien, es cierto que, en abstracto, parecen compatibles los conceptos del *plenum* y del movimiento a manera de remolino; nada es más fácil de imaginar que una porción de fluido moviéndose dentro de un canal en forma de anillo entre un nú-

---

[40] B. Russell, *The Philosophy of Leibniz* (Cambridge University Press, 1900), p. 93, nota. Las réplicas de Leibniz se hallan en los *New Essays on the Human Understanding*, pp. 53-54; Monadology (editado por R. Latta), p. 385; y colección de Gerhardt, *Philsophische Schriften*, vol. I, p. 52.

[41] Aristóteles, *Physica*, IV, 7; Descartes, *Principia*, II, 33.

cleo líquido estacionario y un océano exterior igualmente estacionario. Pero tan pronto como empezamos a analizar los ejemplos concretos con que Descartes trató de ilustrar la compatibilidad del *plenum* y del movimiento vortical, se hace evidente la inferioridad de su idea con respecto al atomismo clásico. Y no sólo se pueden explicar igualmente bien las ilustraciones de Descartes mediante modelos corpusculares, sino que su interpretación plenista conduce a las consecuencias que incluso la experiencia del siglo XVII refutó claramente.

La famosa ilustración de Descartes sobre su afirmación de que el movimiento es posible sin el vacío es un pez que nada en un océano; siendo incompatible el líquido, sus porciones entran en el espacio detrás de un pez que se mueve *al mismo tiempo* que otras porciones del líquido se desplazan delante del cuerpo que se mueve [42]. En otras palabras, la presión ejercida por el movimiento de un pez que se mueve es *instantáneamente* transmitida a lo largo de todo el cuerpo, desde la cabeza a la cola. Así la teoría del *plenum* inevitablemente implica la existencia de acciones físicas instantáneas, o sea, de acciones que se extienden en el espacio con velocidad infinita. Descartes fue únicamente consistente cuando afirmó que la luz que, según él, se compone de presión en el éter, se propaga con velocidad infinita [43]. Sólo un cuarto de siglo había transcurrido después de la muerte de Descartes cuando Olaf Roemer demostró que era errónea esta consecuencia de la física cartesiana. Por otra parte, la teoría corpuscular de la materia no sólo no tenía dificultad alguna en explicar el movimiento de un pez en el agua, sino que también anticipó correctamente la velocidad finita de *todas* las acciones físicas a distancia, pues es evidente que sólo los intersticios finitos del vacío dentro de un líquido falsamente continuo pueden explicar la velocidad finita de la propagación; en substancias rigurosamente continuas, cualquier transmisión debe ser instantánea.

Incluso más serio es el hecho de que Descartes no siempre sos-

---

[42] Descartes, *ibidem:* "Hocque facile intelligimus in circulo perfecto, qui videmus nullum vacuum, nullamque rarefactionem aut condensationem requiri, ut pars circuli A moveatur versus B, modo *eodem tempore* pars B moveatur versus C, C versus D, ac D versus A". [Fácilmente vemos esto en el caso de un círculo perfecto, cuando ningún vacío ni rarefacción o condensación son necesarios para que la parte A del círculo se mueva hacia la parte B, con sólo que *al mismo tiempo* la parte B se mueva hacia la C, la C hacia la D y la D hacia la A.] (Hemos añadido la cursiva.) Compárese también *Le Monde ou le Traité de la Lumière*, cap. IV.

[43] *Ibid.*, III, 63.

tuvo consistentemente su propio concepto del *plenum*. Kurd Lasswitz llamó la atención hacia un extraño pasaje de su *Principia Philosophiae*, en el que Descartes mantiene la continuidad de la materia que llena todos los intersticios del espacio y al mismo tiempo acepta la necesidad de pequeños intervalos entre todas las partículas de este denominado líquido continuo:

> ... necesse est omnes imaginabiles ejus particulas, quae sunt revera innumerae, a se mutuo aliquantulum removeri, & talis quantulacunque remotio vera divisio est * [44].

Está claro que tales intervalos no pueden nunca surgir mientras que el espacio esté lleno en un sentido absoluto; así Descartes, aunque no lo admite explícitamente, en realidad reconoce la existencia del vacío. Pues por pequeños que sean los intervalos que separan las partículas del fluido —incluso si son, hablando como John Locke, tan pequeños como la cienmillonésima parte de un grano de mostaza—, constituyen un vacío real [45]. La razón de que Descartes no se hallara consciente de tan grave inconsistencia era que en su mente se fusionaban dos conceptos muy diferentes: la divisibilidad geométrica del espacio y la separabilidad física de las partículas. Esta era meramente otra desafortunada consecuencia de su ambigua identificación de materia con espacio. Pero esta propia ambigüedad le permitió utilizar modelos corpusculares para la explicación de fenómenos naturales concretos, mientras que sostenía, al menos verbalmente, la existencia de espacio absolutamente lleno.

Intimamente relacionado con su desafortunada confusión de *divisio* y *remotio* se halla el círculo vicioso que subyace en el estudio del movimiento de Descartes. Afirma que la materia debe ser divisible *ad infinitum* para que ningún intersticio ni rincón entre cuerpos macroscópicos se pudiese llenar por completo; pero esta división de la materia se produce mediante el movimiento, que es la única partícula diferenciadora admitida por Descartes. ¡Así el movimiento parece al mismo tiempo la *condición* y *resultado* de la infinita divisibilidad de la materia!

(*) Todas sus parte imaginables —y son realmente innúmeras— deben mantenerse muy ligeramente distantes unas de otras, y tal distancia, por ligera que sea, constituye una separación auténtica.

[44] K. LASSWITZ, *Geschichte der Atomistik*, II, 97-109; DESCARTES, *Principia Phil.*, II, 34.

[45] J. LOCKE, *Essay*, lib. II, cap. XIII, § 23, "Motion proves vacuum".

Tales incertidumbres e inconsistencias parecen ser características no sólo de Descartes, sino de todos los defensores modernos del *plenum absoluto*. Así Leibniz, en el pasaje a que se refería con aprobación Russell, defiende la afirmación cartesiana, según la cual el movimiento vortical dentro del *plenum* es posible. Pero evidentemente Russell se halla inconsciente de que Leibniz, en su carta a Des Bosses en 1706, criticaba la misma partícula básica de la física cartesiana que ocho años más tarde defendió en sus *Nouveaux essais sur l'entendement humain* contra John Locke [46]. Leibniz señaló que un movimiento rotacional dentro de un fluido perfectamente homogéneo no produciría ninguna diferencia observable, porque los estados sucesivos de tal líquido seguirían siendo completamente indistinguibles. Así la teoría cartesiana del movimiento vortical dentro del *plenum* es rechazada por Leibniz como hipótesis totalmente inútil, incapaz de observar la variedad observada del mundo físico. La misma crítica se puede aplicar a la teoría de los átomos-vórtices de William Thomson, que es de espíritu tan evidentemente cartesiano; en realidad, J. B. Stallo, en su libro *The Concepts and Theories of Modern Physics*, dirigió contra la teoría de William Thomson la misma objeción que dirigió Leibniz contra el cartesianismo:

> No habría diferencia o cambio fenoménico. Un fluido destituto e incapaz de diferencia es un vehículo de movimiento real tan imposible como el puro espacio [47].

De manera análoga se expresa Bergson, que sobre este punto casi ciertamente se hallaba influido por Stallo:

> Pero si se observa que este flüido es perfectamente homogéneo, que entre sus partes no hay ni intervalo vacío que las separe ni diferencia alguna que las distinga, se verá que todo movimiento que tiene lugar dentro de este flüido es realmente equivalente a la inmovilidad absoluta, puesto que antes del movimiento, durante éste y después de éste no cambia ninguna cosa, ni ha cambiado nada en el todo [48].

Este fracaso de explicar tanto la diversidad fenoménica como el cambio parecerá menos sorprendente si recordamos la premisa básica eleática en que se basan las teorías fluidas: todo está lleno.

---

[46] LEIBNIZ, en C. J. GERHARDT, *Leibnizens Philosophische Schriften*, V, p. 52.
[47] LEIBNIZ, *Phil. Schriften*, II, p. 295; J. B. STALLO, *op. cit.*, p. 44.
[48] BERGSON, *Time and Free Will*, p. 206.

De esta premisa eleática es extremadamente difícil extraer algo que no sean conclusiones eleáticas que excluyan tanto el cambio como la diversidad, por antagónicas que fuesen tales implicaciones para los físicos de mentalidad empírica que hicieron todo lo posible por evitarlas. Esto fue más fácil para los físicos del pasado siglo, porque eran mucho menos dogmáticos que Descartes en su insistencia sobre el *plenum* absoluto. Así, después de insistir tan vigorosamente sobre la completa ausencia de vacío en el universo, William Thomson aceptó más tarde la hipótesis de los vórtices con «núcleos vacuos» [49]. Los defensores filosóficos del *plenum* también mostraron una mayor flexibilidad que sus antecesores filosóficos del siglo XVII; así, Bertrand Russell, que, como hemos visto, se puso de parte de Leibniz contra la afirmación de Locke acerca del vacío en 1900, sólo tres años más tarde compartía la creencia de Locke en la existencia del espacio vacío [50].

Todas las consideraciones precedentes conducen a una conclusión: las teorías del éter no representaban ninguna amenaza seria para las proposiciones básicas del atomismo. La distinción básica entre «lleno» y «vacío», en que se basa el concepto de partícula discreta, parecía ser enteramente comparable con la idea del medio interplanetario o intermolecular. Una interpretación cinético-corpuscular de tal medio seguía siendo una posibilidad abierta mientras se prolongaba la era clásica en la física. Whitehead se hallaba plenamente consciente de ello cuando caracterizó el espíritu de la era clásica en el conciso párrafo siguiente:

> Por tanto, la respuesta que el siglo XVII dio a la antigua pregunta de los pensadores jónicos «¿De qué se compone el mundo?» fue que el mundo es una sucesión de configuraciones instantáneas de la materia; *o de lo material si se desea incluir algo más sutil que la materia ordinaria, el éter, por ejemplo* [51]. (Hemos añadido la cursiva.)

En otras palabras, la introducción del concepto del éter no agregó nada básicamente nuevo a los cuatro conceptos básicos ya analizados: espacio, tiempo, materia y movimiento.

---

[49] E. T. WHITTAKER, *op. cit.*, I, p. 303, nota.
[50] RUSSELL, *Principles of Mathematics*, p. 449: "Tanto el ser como la existencia creo que pertenecen al espacio vacío".
[51] *Science and the Modern World* (Nueva York, Macmillan, 1926), p. 73.

CAPITULO OCTAVO

La eliminación implícita del tiempo en la física clásica

La fórmula intemporal de Laplace.

Es evidente que la sucesión no es la única relación entre las diferentes configuraciones de lo material. Como dice Whitehead en el pasaje que sigue inmediatamente al que hemos citado al final del capítulo VII, «las configuraciones determinaron sus propios cambios, de manera que se cerró completamente el círculo de la explicación científica». En otras palabras, cualquier configuración instantánea de un sistema aislado implica lógicamente todas las configuraciones futuras del sistema. Su historia futura se ve así virtualmente contenida en su estado presente, que, a su vez, se ve lógicamente contenido en sus estados pasados. Lo que sucede con cualquier sistema aislado debe suceder con todo el universo, siempre que el universo en sí posea el carácter de un sistema aislado. La última suposición era más o menos tácitamente aceptada en la ciencia clásica, ya se creyera que la masa total del universo era infinita o finita. En esta conexión no hay diferencia entre la filosofía infinitista de Giordano Bruno, Descartes, Spinoza y otros, y el finitismo de Eugène Dühring y Friedrich Nietzsche. Todos se adherían al determinismo riguroso, que halló su expresión más precisa en el famoso y frecuentemente citado pasaje de Laplace:

> Un intelecto que en un instante dado conociese todas las fuerzas que actúan en la naturaleza y la posición de todas las cosas de que se compone el mundo —suponiendo que dicho intelecto fuese lo bastante vasto para someter estos datos al análisis— abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los de los átomos más pequeños; para él no sería nada incierto, y el futuro, lo mismo que el pasado, sería presente a sus ojos [1].

---

[1] LAPLACE, *Introduction à la théorie analytique des probabilités, Oeuvres Complètes* (París, 1886), p. VI.

En este concepto de Laplace acerca de la causalidad, que se ha convertido en artículo del credo ortodoxo de la ciencia clásica, subyace la afirmación de que la historia del universo físico puede ser representada como una serie matemáticamente continua de estados instantáneos, representándose cada estado por una configuración instantánea de un número fantásticamente grande de entidades corpusculares simultáneas con posiciones y velocidades claramente definibles; cada una de estas configuraciones se ve implicada por otra anterior, mientras que, a su vez, implica otra futura.

Así, el concepto clásico de causalidad presupone todo el grupo de ideas clásicas ya analizadas: *a)* continuidad espaciotemporal; *b)* simultaneidad absoluta de incluso los sucesos más distantes, y *c)* corpúsculos con sus posiciones y velocidades claramente definibles. Esta es básicamente la *idea cinético-corpuscular de la realidad*, que en su sentido más amplio incluye incluso la denominada teoría dinámica de la materia, así como las teorías energéticas y electromagnéticas. El esquema básico sigue siendo idéntico, ya sean las últimas entidades átomos, electrones, partículas de éter, simples puntos de fuerza o estados energéticos como puntos que, aunque carecen de volumen finito, se diferencian, sin embargo, por su propia naturaleza de las posiciones geométricas que ocupan. Por esta razón, el término «material» de Whitehead es tan extenso que se aplica a todas las entidades físicas, ya sean semejantes a puntos como en las teorías de la fluidez o ya tengan un radio definido finito como en varios tipos de atomismo.

Es apenas sorprendente que la primera formulación exacta del determinismo riguroso apareciese al mismo tiempo que el primer bosquejo claro de la idea cinético-corpuscular de la naturaleza. La conexión histórica no es accidental; exhibe una relación lógica. Veintidós siglos antes de Laplace, Demócrito expuso sin ambigüedades que «por necesidad se hallan preordenadas todas las cosas que fueron, son y serán» [2]. La única diferencia entre el atomismo griego y la física del siglo XIX era que esta última tenía a su disposición instrumentos técnicos y conceptuales más eficientes que los de Demócrito y Leucipo; la vaga necesidad (ἀνάγκη) del atomismo griego ha sido sustituida por las exactas leyes de conservación de la dinámica moderna [3]. Fundamentalmente, sin

---

[2] C. Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus*, pp. 120-21.

[3] Compárese capítulo V, especialmente notas 12 y 13, acerca de la prefiguración de la ley de inercia y conservación de movimiento por los antiguos atomistas.

embargo, los conceptos básicos eran idénticos. Esta fue la profunda razón histórica por la que el nacimiento de la ciencia moderna se produjo simultáneamente con la resurrección del atomismo por Bruno, Bacon, Gassendi y otros [4].

La realidad física era considerada por los atomistas antiguos y modernos como compuesta de partículas homogéneas que, aunque moviéndose a través del espacio, seguían siendo eternamente idénticas. Sólo sus distancias, o sea, sus relaciones en el espacio vacío, sufrían cambio; pero es altamente significativo que el espacio vacío se llamase No Ser en oposición al Ser sólido de la materia. Así, el cambio de las distancias en el espacio vacío era considerado como teniendo lugar en el No Ser. Como este No Ser era considerado como existiendo en cierto sentido, está claro que la realidad del cambio no se veía completamente eliminada; pero como el vacío no poseía realidad de rango igual al de la materia sólida y substancial, el movimiento compartía con el vacío su carácter espectral y semirreal. En otras palabras, el cambio, aunque no era completamente abolido, sólo era admitido de un modo semisincero e inocuo; el movimiento, definiéndose como cambio de relación en el No Ser, evidentemente no afectaba a la identidad eterna de la realidad material básica. Así el cambio y la sucesión retenían simplemente una vaga existencia, una especie de semiexistencia, revoloteando de manera vacilante entre el pleno Ser de la materia y la pura nada, deslizándose como si estuviese encima de las lisas superficies de duros e impenetrables átomos. O como lo expresó Whitehead en términos menos metafóricos:

Este hecho de que lo material es indiferente a la división de tiempo conduce a la conclusión de que *el lapso de tiempo es un accidente, más bien que la esencia de lo material.* Lo material es plenamente idéntico en cualquier subperíodo, por corto que éste sea. Así la transición de tiempo no tiene nada que ver con el carácter de lo material.

[4] Muchos científicos modernos que se hallan orgullosos de sus verificaciones empíricas del atomismo tienden a exagerar las diferencias entre el atomismo "especulativo" de los griegos y el atomismo "empírico" del siglo XIX. Pero es innegable la continuidad entre las dos formas de atomismo, y la diferencia entre ellas es únicamente la de grado; el atomismo del siglo XVII de Gassendi, Boyle y Newton representa una etapa intermedia, semiempírica, semiespeculativa, entre Demócrito y Dalton. Compárese K. LASSWITZ, *Geschichte der Atomistik*, II, *passim;* F. A. LANGE, *The History of Materialism* (Nueva York, Humanity Press, 1950), II, p. 240; E. MEYERSON, *Identité et Réalité*, p. 87; *De l'explication dans les sciences*, II, pp. 321-2 (contra las dudas de L. Büchner y M. Smoluchowski concernientes a la continuidad entre el atomismo antiguo y moderno).

Lo material es igualmente idéntico en un instante de tiempo. Aquí un instante de tiempo se concibe como falto en sí de transición, puesto que la transición temporal es la sucesión de instantes [5]. (Hemos añadido la cursiva.)

En este pasaje Whitehead muestra cómo la indiferencia de la materia al tiempo, o sea, su constancia cuantitativa e invariabilidad cualitativa, se halla relacionada con la divisibilidad infinita del tiempo. Ya hemos discutido este punto al demostrar cómo la unidad de la materia en el tiempo era una consecuencia de la homogeneidad, o sea, la continuidad matemática del tiempo. Así el lapso de tiempo es un mero accidente: la materia y sus leyes son idénticas, ya las consideremos dentro de cones cósmicos o dentro de intervalos de tiempo extremadamente pequeños. Hemos visto que éste era el postulado básico de la física clásica [6].

Este carácter accidental y superficial del tiempo en el esquema mecanicista puede ser demostrado de otro modo. Las causas implican sus efectos; pero, también a la inversa, de los efectos se pueden derivar las causas. La relación causal no es sólo una implicación lógica, sino también una implicación tautológica (equivalencia). Se puede derivar de cualquier estado particular del universo, no sólo de cualquiera de sus estados futuros, sino también de cualquier estado pasado. En virtud de la ley de la causalidad, no sólo es posible anticipar el futuro con todos sus detalles, sino que incluso se puede reconstruir por completo el pasado, siempre que se conozcan plenamente todas las facetas del estado presente.

Así la fórmula intemporal de Laplace es la clave del conocimiento tanto del futuro como del pasado. Para un astrónomo que desea conocer las posiciones pasadas de la luna es suficiente sustituir el tiempo por un signo negativo en su ecuación [7]. Pero si esto es así, entonces la dirección del tiempo apenas tiene significado en la mecánica racional, que en la era clásica se había convertido en modelo ideal para que otras ciencias lo imitasen. Siendo lógicamente simétrica la relación causal, no parece que haya ninguna diferencia intrínseca entre las dos direcciones del tiempo o, si hay alguna diferencia, parece que es inexplicable mediante la definición de causalidad como implicación tautológica. Se-

---

[5] A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, p. 73.

[6] W. Thomson, "The Size of Atoms", *Popular Lectures and Addresses*, I, p. 150 (acerca de la imposibilidad de cualquier límite a la divisibilidad de espacio y tiempo).

[7] Esto fue acentuado por E. du Bois Reymond, "Über die Grenzen des Naturerkennes", *Wissenschaftliche Vorträge*, edición de J. H. Gore (Boston, Ginn, 1896), p. 38.

gún nuestra percepción sensorial, la dirección «del pasado al futuro» es cualitativamente diferente de la dirección opuesta; según la mecánica clásica, la diferencia es comparable a la diferencia convencional entre un signo más y uno menos en la geometría analítica.

Pero si la simetría del tiempo es abolida, ¿no es eliminado el propio tiempo?

La reversibilidad del tiempo clásico.

Nos enfrentamos a la misma pregunta cuando estudiamos el problema de la reversibilidad del tiempo desde un ángulo más concreto. Hemos visto que la equivalencia lógica de causa y efecto borra o tiende a borrar la distinción entre el pasado y el futuro. Es igualmente significativo que esta distinción (la «dirección del tiempo») pierda su significado objetivo en el modelo cinético-corpuscular del universo con el que se ha visto tradicionalmente asociada la doctrina de necesidad causal. Si las diferencias entre las sucesivas fases de la historia del mundo se deben simplemente a las diferencias entre las configuraciones espaciales de las partículas inmutables, entonces la denominada «irreversibilidad del tiempo» no se convierte nada más que en una probabilidad extremadamente pequeña de que se produzca de nuevo una configuración idéntica, representando el estado del mundo en un instante dado. Pero incluso esta improbabilidad tan extremada no es imposible; por el contrario, con tiempo ilimitado a nuestra disposición se convierte en *necesidad*, al menos si nos adherimos rigurosamente a la idea del universo atomístico finito. Nietzsche, que se hallaba grandemente influido por el atomismo dinámico de Boscovich, expresó la idea del eterno retorno con palabras de insuperable elocuencia en varios pasajes del libro *Also sprach Zarathustra*, y de una forma menos viva en su *Wille zur Macht:*

Si el universo puede concebirse como cantidad definida de energía, como número definido de centros de energía —permaneciendo indefinidos y, por tanto, inútiles todos los otros conceptos—, se deduce que el universo debe pasar por un número calculable de combinaciones en el gran juego de probabilidades que constituye su existencia. En la infinidad, en uno u otro momento, toda combinación posible ha debido realizarse una vez; no sólo esto, sino que ha debido realizarse un número infinito de veces. Y puesto que entre cada una de estas combina-

ciones y su repetición inmediata se habría producido, necesariamente, cualquier otra combinación posible, y puesto que cualquiera de estas combinaciones determinaría toda la serie en el mismo orden, se demuestra así un movimiento circular de serie absolutamente idéntica: así se ve que el universo es un movimiento circular que ya se ha repetido un infinito número de veces, y que sigue su juego a través de toda la eternidad[8].

O como dice Bergson de un modo claro y conciso:

Ahora bien, decimos que un objeto compuesto cambia por el desplazamiento de sus partes. Pero cuando una parte ha abandonado su posición, no hay nada que impida su retorno a ella. Un grupo de elementos que ha pasado por un estado puede hallar siempre, por tanto, su camino de regreso a ese estado, si no por sí solo, al menos por medio de una causa externa capaz de restituir toda cosa a su lugar. Esto viene a decir que cualquier estado del grupo puede repetirse tan frecuentemente como se desee y que, por consiguiente, el grupo no envejece. *No tiene historia*[9]. (Hemos añadido la cursiva.)

En su forma radical, la idea del eterno retorno fue defendida no sólo por Nietzsche, sino también por otros pensadores de los que ciertamente no se puede sospechar que tengan un exceso de imaginación poética: Henri Poincaré en 1890, Ernst Zermelo en 1896 y Abel Rey en fecha tan reciente como la de 1927[10]. Según el «teorema de fases», de Poincaré, un sistema mecánico, dado un tiempo suficientemente largo, debe pasar un número infinito de veces por una configuración que se halla infinitamente cerca de una configuración por la que ya ha pasado. De la naturaleza de las leyes de probabilidad se deduce que incluso la combinación menos probable se producirá finalmente, o como expone Reichenbach en sus recientes palabras:

Esta es una faceta esencial de las secuencias de probabilidad: toda combinación de atributos que tenga una probabilidad no cero debe producirse con frecuencia no cero. Cuando echamos un dado suficientes veces debe producirse, finalmente, una serie de mil tiradas, mostrando

---

[8] *The Will to Power*, en *The Complete Works of Friedrich Nietzsche* (Edimburgo y Londres, Foulis, 1913), vol. IX, p. 430.

[9] Bergson, *Creative Evolution*, p. 11.

[10] H. Poincaré, "Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique", *Acta mathematica*, XIII (1890), especialmente pp. 69-72; E. Zermelo, "Über einen Satz der Dynamik und die mechanische Wärmetheorie", *Ann. der Physik u. Chemie*, Bd. 57 (1896), pp. 485-94; A. Rey, *Le retour éternel et la philosophie de la physique* (París, 1927).

hacia arriba la cara del 6, porque la probabilidad de tal serie, aunque muy baja, es mayor que la de cero. Cuando barajamos una baraja de cartas, después de poner todas las cartas del color rojo encima de las cartas del color negro, transformaremos en una mezcla este estado ordenado; pero si barajamos durante suficiente tiempo debemos volver, finalmente, por pura casualidad, al estado original, porque la probabilidad de llegar a tal orden es mayor que la de cero [11].

Desde luego, la hipótesis radica en que el universo es una baraja de cartas, o sea, un agregado de entidades distintas que persisten a través del tiempo sin ningún cambio intrínseco. Como hemos visto, ésta es la propia esencia del modelo cinético-corpuscular de la naturaleza. En una forma menos radical y más diluida la reversibilidad del tiempo fue sostenida por los demás pensadores del siglo XIX que se hallaban imbuidos del espíritu de la física clásica. Es suficiente mencionar a dos hombres en otro tiempo famosos: Herbert Spencer y Svante Arrhenius. Según el primero, la historia cósmica en general carece de dirección definida; los períodos de evolución alternarán infinitamente con los períodos de disolución:

> Y así se sugiere el concepto de un pasado, durante el cual se han producido evoluciones sucesivas, análogas a la que se está produciendo ahora, y un futuro durante el cual pueden producirse otras evoluciones sucesivas; *siempre idénticas en principio, pero nunca idénticas en resultados concretos* [12]. (Hemos añadido la cursiva.)

De una manera similar, Svante Arrhenius, en consciente acuerdo con Herbert Spencer, insistía en el carácter cíclico de la «historia» cósmica [13]. De acuerdo con casi todos los cosmogonistas del siglo XIX, afirmaba que el universo es un mecanismo eternamente en marcha, desarrollándose «de nebulosa a nebulosa» en una interminable serie de ciclos.

Esta idea de la periodicidad de mundos, que en sus ideas esenciales fue también anticipada por algunos filósofos presocráticos, se enfrentaba a un serio obstáculo: la segunda ley de la termodinámica, según la cual el universo se mueve inexorablemente hacia el estado de «muerte térmica» en el que se nivelarán todas

---

[11] H. Reichenbach, *The Direction of Time*, edición de María Reichenbach (University of California Press, 1956), p. 111.

[12] H. Spencer, *First Principles*, p. 550.

[13] Svante Arrhenius, *Worlds in the Making*, traducción de H. Borns (Nueva York, Harper, 1908), p. 209.

las diferencias de temperatura, y la energía cósmica, aunque indestructible y cuantitativamente idéntica, se disipará uniformemente por todo el espacio. Es significativo lo persistentemente que la mayoría de los científicos clásicos, especialmente los que eran de mentalidad filosófica, trataron de eludir las consecuencias de la segunda ley de la termodinámica. Se postularon varios dispositivos mediante los cuales, utilizando la expresión de Arrhenius, se pudiese dar de nuevo «cuerda al universo»; más específicamente, mediante los cuales se pudiese producir una temperatura suficientemente alta, prevaleciendo en la nebulosa original de Laplace. Sería inútil examinar *todas* estas construcciones hipotéticas, algunas de las cuales eran ingeniosas, otras plausibles y otras extrañas; como ilustración, será suficiente un espécimen por cada categoría.

El modo más plausible de «volver a dar cuerda al universo», al menos en una escala local, era por medio de choques cósmicos. Spencer mencionó que, bajo ciertas condiciones, un choque de obscuros cuerpos fríos es suficiente para transformarlos en masa gaseosa. Croll y Ritter trataron de hallar condiciones mecánicas más específicas para tales repeticiones, mediante las cuales se puede explicar el origen de las nebulosas. Croll descubrió que velocidades de 200 millas por segundo serían suficientes para convertir en vapores a los cuerpos que chocan, creando un calor que duraría 50 millones de años [14].

Más ingeniosa era la hipótesis de Arrhenius. A fin de apoyar la idea clásica de la reversibilidad de la historia cósmica, utilizó un descubrimiento oportuno cuyo significado realmente apuntaba *más allá* de la estructura conceptual clásica: la presión de la radiación. Según él, el universo tendería a formar un enorme y único cuerpo frío si el efecto concentrante de la gravitación y el efecto disipante de la ley del incremento de entropía se continuasen sin freno alguno; pero, afortunadamente, la presión de la radiación contrarresta el efecto concentrante de la gravitación, mientras que al mismo tiempo lleva fino polvo cósmico a nebulosas distantes y eleva su temperatura, crea nuevos núcleos de procesos de condensación y produce así un decrecimiento local de entropía [15]. La hipótesis más extraña fue propuesta por Rankine. Su

---

[14] S. Arrhenius, *Die Vorstellung der Weltgebäude im Wandel der Zeiten* (Leipzig, 1908), p. 169. Sobre cómputos similares de Ritter, compárese *Worlds in the Making*, p. 162.

[15] Arrhenius, *Worlds in the Making*, p. 194-195.

finalidad era idéntica, como claramente indica el título de su estudio: *On the Reconcentration of the Mechanical Energy of the Universe* [16]. Pero su idea de las «paredes reflexivas del universo», que impediría que la radiación escapara al vacío infinito que rodea a la masa cósmica, era evidentemente demasiado artificial y aventurada para ser considerada en serio.

Por su propia rareza, el intento de Rankine mostraba a qué desesperados extremos deseaban recurrir algunos físicos para eludir la idea de tiempo cósmico irreversible. En un capítulo de su obra clásica, Emile Meyerson demostraba de manera convincente que, en esta resistencia a aceptar la consecuencia de la ley de incremento de entropía para todo el universo, subyacía un profundo convencimiento filosófico, más que científico, acerca del carácter *cíclico* del tiempo cósmico, el carácter que se halla implícito en la propia esencia del esquema cinético-corpuscular [17]. Esto explica la gran satisfacción sentida entre los científicos de mentalidad filosófica cuando de una manera completa se observó que la ley de entropía era simplemente una *ley estadística* que sólo indica la probabilidad de repeticiones. Por su propia naturaleza, las leyes de probabilidad no excluyen ni siquiera la repetición más improbable; por consiguiente, un decrecimiento de entropía, aunque improbable, no es imposible. El estudio del movimiento browniano demostró que, a nivel molecular, no tiene sentido hablar de la ley de entropía, porque los procesos mecánicos elementales son reversibles, y una partícula más lenta puede ganar energía cinética a expensas de las partículas de mayor cantidad de energía cinética [18]. Esto sería una violación de la segunda ley de la termodinámica *si* esta última no fuese una ley de probabilidad. En otras palabras, la segunda ley de la termodinámica es significativa únicamente a escala *macroscópica*, donde se producen procesos que contienen un enorme número de partículas elementales; a escala molecular no es de utilidad, porque el propio concepto de temperatura es un concepto macroscópico.

Pero ésta no es la única limitación. Si la propia naturaleza de las leyes de probabilidad implica que incluso los sucesos más improbables deben producirse, es posible que incluso a escala macroscópica algunos procesos extremadamente improbables no sólo

---

16 *Phil. Mag.*, IV, 4 (1852), pp. 552 y sig.

17 MEYERSON, *Identité et Réalité*, cap. VIII, especialmente pp. 301 y sig.

18 E. MEYERSON, *op. cit.*, p. 313; JEAN PERRIN, *Les Atomes*, 2.ª ed. (París, 1927), pp. 121-22.

puedan producirse, sino que *deban* producirse finalmente: no sólo puede haber regiones donde *haya un* decrecimiento local de entropía; incluso pueden existir, según Boltzmann, regiones donde aun a escala macroscópica decrece la entropía y el tiempo, por decirlo así, «corre hacia atrás». Es cierto que tales regiones deben hallarse, en el espacio, enormemente lejos de nuestro mundo, donde se incrementa la entropía; pero aun si esa distancia fuese $10^{10^{10}}$ veces la distancia de Sirio desde nuestro sistema solar, sería una distancia *finita* y no haría menos real «un tiempo que corre hacia atrás».

Por las mismas consideraciones de probabilidad también fue posible extraer la conclusión de que incluso nuestra región del universo debía pasar finalmente por una etapa improbable en que la entropía decrecería y el tiempo se movería en la dirección opuesta. Así la ley de entropía que subyace en la irreversibilidad del tiempo no sólo carece de significado a nivel molecular, sino que incluso a escala cósmica no puede ser universalmente válida. Como dice Boltzmann, «para todo el universo son indistinguibles las dos direcciones del tiempo» en el mismo sentido que en el propio espacio cósmico no hay distinción intrínseca entre arriba y abajo [19]. Aunque Boltzmann era menos explícito sobre este punto, su abolición de la distinción entre el pasado y el futuro es, al menos implícitamente, tan radical como la presentada en la magnífica visión de Nietzsche sobre la repetición eterna.

Una hipótesis muda subyacía en todas las afirmaciones acerca de la reversibilidad del tiempo y la posibilidad de la repetición idéntica de un momento particular de la historia del mundo. Esta hipótesis se conoce por el nombre de *teoría relacional del tiempo*. En el capítulo III ya hicimos una breve referencia a ella. La teoría relacional manifiesta que los momentos de tiempo se diferencian únicamente por las *diferencias observables* entre los estados correspondientes del universo. En otras palabras, si hay dos estados de historia universal que son idénticos en *todos* los aspectos, entonces su diferencia e incluso su «dualidad» es *meramente* verbal; sólo hay dos nombres diferentes para un solo e idéntico estado. Porque en el esquema cinético-corpuscular del universo «los estados» se definen en los términos de configuraciones y velocidades de partículas, es evidente que dos estados del universo, caracterizados por la misma distribución de partículas que poseen

[19] L. Boltzmann, *Vorlesungen über die Gastheorie* (Leipzig, 1898), II, pp. 257-58.

idénticas velocidades, sólo son verbalmente dos; serían un solo e idéntico estado. En otras palabras, el universo recorrería en tal caso un círculo completo y, no sólo metafóricamente, sino también literalmente, retornaría al estado previo.

Es evidente el contraste con la teoría absolutista del tiempo, representada por Barrow y Newton. En la teoría de Newton dos momentos sucesivos de tiempo siguen siendo sucesivos *incluso si son completamente idénticos todos los sucesos físicos que ocupan estos momentos*. Aun si el universo tuviese que retornar al mismo estado, caracterizado por una repetición muy improbable, pero no imposible, de la misma configuración de sus unidades básicas, no retornaría el propio tiempo; los dos momentos, aun teniendo el mismo contenido físico, seguirían siendo irremediablemente sucesivos. Esto se deduce naturalmente de la separación del tiempo respecto de su contenido en la teoría absolutista. En la teoría relacional *la relación de la propia sucesión* se define por diferencias físicas reconocibles (al menos en principio); aplicando el *principium indiscernibilium* [la identidad de indiscernibles], de Leibniz, los adictos a la teoría relacional afirmaban que dos estados que son idénticos en *todos* los aspectos no pueden ser diferentes y, por consiguiente, ni siquiera pueden ser sucesivos.

La primera formulación clara de la teoría relacional del tiempo se debe a Lucrecio, que indudablemente se hallaba bajo la influencia de su maestro griego Epicuro:

> Así, también, el tiempo no tiene ser por sí solo,
> Sino que es de las cosas de donde tomamos un sentido
> De lo que había en el pasado, o de lo que para nosotros
> Contiene el presente, o de lo que nos reserva el mañana.
> Entonces también debes confesar por fuerza que nadie
> Puede percibir nunca el tiempo en sí, aparte
> De las cosas que se mueven o están en completo reposo [20].

La substancia del argumento no ha cambiado a través de los siglos, y cuando Boltzmann, a finales del siglo pasado, insistió en que la «dirección del tiempo», o sea, la distinción entre el pasado y el futuro, es inaplicable a todo el universo y que incluso en una escala local se define sólo en términos del paso de un estado menos probable a otro más probable, simplemente volvió a exponer en lenguaje moderno la afirmación de Lucrecio acerca

---

[20] LUCRECIO, *De rerum natura*, I, vv. 459-465. Una nueva traducción de C. A. Bennet (W. J. Black, Nueva York, 1946).

de la inseparabilidad del tiempo respecto de las «cosas», o sea, de las partículas materiales elementales. Pero, con igual énfasis, los defensores de la teoría absolutista, desde Newton al joven Russell [21], afirmaban la independencia del tiempo respecto de su contenido o, más específicamente, la independencia de *la dirección del tiempo* respecto de la dirección y orientación de procesos físicos concretos, que pueden ser revertidos sin causar una reversión de la dirección del tiempo. Este conflicto, unas veces latente, otras veces agudo (como en la famosa controversia Leibniz-Clarke), siguió sin ser resuelto a través de toda la era clásica y de una forma diferente se halla presente incluso después de haber sido eliminados los fundamentos de la física clásica.

Aunque la teoría relacional del tiempo nunca ha prevalecido de manera definida sobre la teoría absolutista, su influencia fue suficientemente fuerte para explicar la tendencia general a *no* incluir el tiempo entre las entidades físicas básicas. Esto explica el hecho de que incluso los absolutistas vacilaban en su defensa del tiempo absoluto. Un ejemplo instructivo de tal vacilación se puede hallar en los propios albores de la era clásica. En sus ideas acerca del espacio y el tiempo Pierre Gassendi era predecesor de Newton y como tal era considerado por el propio Newton [22]. La independencia newtoniana de espacio y tiempo respecto de su contenido físico concreto fue claramente expresada por él cuando manifestó que, mientras se creaba la materia en el tiempo, el espacio estuvo *siempre* en existencia; en otras palabras, el espacio y el tiempo no sólo son anteriores al universo material de una manera lógica, sino incluso de una manera temporal. Por tanto, es aún más sorprendente oir del mismo autor la manifestación que reduce el tiempo a un simple modo de pensamiento, y lo caracteriza como un mero *accidens accidentium* [23].

Pero esta evidente contradicción se hará menos sorprendente cuando recordemos que las raíces de la teoría relacional del tiempo se hallan en el esquema cinético-atomístico de Epicuro y Lucrecio que reavivaba Gassendi. Si, como escribió Lucrecio, «el tiempo no es nada por sí solo», siendo meramente una función de cambio y, en este sentido, configuraciones accidentales de partículas, no es extraño que fuese llamado «accidente de accidentes»

[21] Compárese B. Russell, "Is Position in Space and Time Absolute or Relative?", *Mind*, vol. X (1901), pp. 293-317.

[22] Compárese capítulo III, nota 7.

[23] Compárese capítulo V, nota 15, y capítulo III, nota 7.

por el discípulo de Epicuro. Mientras que el universo sea considerado como agregado de los elementos inmutables, que simplemente cambian sus posiciones en el espacio, no puede poseer historia real; así lo que llamamos dirección del tiempo es un fenómeno local que pierde su significado a escala cósmica. Cuando en el siglo XX, Russell, Reichenbach y otros expresaron sus dudas acerca de la existencia del tiempo cósmico [24], simplemente siguieron el camino abierto por la teoría relacional clásica del tiempo. De considerar el tiempo como accidente de accidentes a negarlo por completo, sólo hay un pequeño paso.

---

[24] B. RUSSELL *(Outlines of Philosophy*, Londres, Allen & Unwin, 1927, p. 114) habla de la "abolición" del tiempo cósmico. Reichenbach coincide con L. Boltzmann en su idea acerca de "la naturaleza seccional de la dirección del tiempo": "Se deduce que no podemos hablar de una dirección del tiempo en general; sólo ciertas secciones del tiempo tienen direcciones, y estas direcciones no son idénticas" *(The Direction of Time*, p. 127). Una idea similar fue expresada por M. SCHLICK, *Grundzüge der Naturphilosophie* (Wien, 1948), pp. 105-107.

CAPITULO NOVENO

Las últimas consecuencias del mecanicismo

En el modelo clásico la realidad física era constituida por cuatro entidades fundamentales: espacio, tiempo, materia y movimiento. Todos los otros conceptos, incluyendo el de energía y momento, eran derivados; de manera análoga, los intentos de reducir el número de las entidades básicas a menos de cuatro no fueron victoriosos. El intento cartesiano de reducir la materia y el movimiento a características puramente espaciales tuvo tan poco éxito como la teoría relacional del tiempo al intentar reducir el tiempo al movimiento. Por razones psicológicas, el concepto de materia obscureció a veces el concepto de vacío, o ambos conceptos obscurecieron el de movimiento, y casi siempre los conceptos de espacio, materia y movimiento tendieron a obscurecer el de tiempo. El vacío parecía una entidad diáfana en contraste con la materia tangible, pero retenía, sin embargo, características visuales y geométricas, que a la escuela cartesiana y a sus descendientes modernos parecían la única realidad. De igual modo, la materia y el espacio, en virtud de su constancia e inmovilidad, parecían ser menos evasivos que el movimiento. Las sensaciones táctiles descubrieron la realidad de la materia, y las sensaciones visuales la realidad del espacio. Puesto que las sensaciones visuales y cinestéticas descubrieron la realidad del movimiento, también el movimiento era un dato sensorial.

Pero ¿a qué dato sensorial correspondía la realidad del tiempo? No se puede tocar ni ver; se manifiesta más conspicuamente en las sensaciones auditivas que, desde la época de los antiguos atomistas, han sido excluidas de la realidad física, o en las cualidades introspectivas emocionales que, por definición, no pertenecen al mundo físico. Es cierto que en la percepción sensorial del movimiento experimentamos concretamente sucesión y que el concepto de movimiento presupone el concepto de tiempo; pero es psicológicamente comprensible que este orden lógico quedase

olvidado y, como el movimiento en forma de desplazamiento espacial era más accesible a la percepción e imaginación, se hizo de él la propia base del concepto de tiempo en la teoría relacional.

Esta tendencia a eliminar el tiempo o, al menos, a reducirlo a una entidad secundaria y derivada, era fortalecida por ciertos rasgos profundos de nuestro pensamiento conceptual. A *la tendencia de espacializar el tiempo* se le puede seguir el rastro hasta los propios albores del pensamiento occidental, alcanzando su culminación en la física newtoniana clásica. Aunque, a principios de la era clásica, el tiempo era todavía considerado como definitivamente e incluso divinamente real, se creía que casi todos sus atributos eran comparables a los atributos del espacio. Se creía que el tiempo compartía su homogeneidad, infinidad y continuidad matemática con el espacio. La única faceta diferenciadora era un número diferente de dimensiones y la diferencia entre la relación de yuxtaposición y la de sucesión; pero como la relación de antes y después era también simbolizada por la yuxtaposición espacial, la propia esencia de temporalidad era inconscientemente, y a veces contra las negativas explícitas de filósofos y científicos, convertida en una entidad intemporal y espacial, en «la cuarta dimensión del espacio» en el sentido de D'Alembert y Lagrange [1]. En esta cuarta dimensión los denominados sucesos futuros preexisten literalmente, y sólo las limitaciones del conocimiento humano nos impiden percibirlos como *existiendo* con el momento presente en vez de *no existiendo todavía*. Así es significativo que dos contemporáneos de Newton más atrevidos —Spinoza y Malebranche —eliminaran el tiempo de entre las propiedades básicas de lo divino, o sea, de la realidad última, aunque continuaron enumerando el espacio entre ellas.

El ejemplo de Spinoza indica que eran paralelas la tendencia que subordinaba el tiempo al espacio y la tendencia de explicar *el cambio en términos de la substancia*, o *el desarrollo en términos del ser*. En cambio, la espacialización del tiempo era simplemente una forma especial de esta segunda tendencia. Si Parménides fue el primero que propuso una conversión radical del desarrollo en ser, su discípulo y defensor Zenón fue el primero que trató los intervalos temporales como segmentos geométricos. Se-

---

[1] D'ALEMBERT, *Traité de dynamique*, p. 7; LAGRANGE, *Oeuvres* (París, 1867-92), vol. IX, p. 357.

ría reiterativo extendernos sobre la relación genética entre el modelo eleático y el cinético-corpuscular de la realidad. Aunque menos radical que la escuela de Elea, el atomismo, tanto antiguo como moderno, retenía la creencia eleática clásica en la constancia del ser, que en su cantidad, así como en su cualidad, no se halla sujeto a ningún cambio; el cambio, aunque no era completamente negado, retenía un carácter semiespurio, pues no afectaba a las últimas unidades de la substancia material. Sería igualmente reiterativo acentuar de nuevo cómo el propio movimiento, cuando se convirtió en objeto de estudio científico en el siglo XVII, fue explicado como consecuencia lógica de las leyes de conservación; en otras palabras, cómo el propio movimiento se substancializó bajo los nombres de momento y energía. Las diversas leyes de conservación son diferentes variaciones del mismo tema básico: cierto *quantum* substancial sigue siendo constante, mientras que sus partes constitutivas cambian sus lugares en el espacio. La cantidad de materia sigue siendo idéntica, pero sus partes cambian sus relaciones espaciales; la cantidad de movimiento se conserva, pero su distribución espacial cambia; la cantidad de energía sigue siendo constante, pero su distribución espacial varía.

Así en las leyes de conservación y, en particular, en la ley de la conservación de energía, de la que se puede derivar la ley de la conservación de momento [2], detectamos la inspiración básica del *determinismo estático:* el Ser —considerado como *quantum* substancial invariable, cuyo cambio superficial, que parece una sucesión de causas y efectos (o, más exactamente, una sucesión de equivalentes energéticos)— es un simple descubrimiento de su identidad eterna. Esta interpretación energética de relación causal se basa en la hipótesis de que la causa y el efecto son en el fondo idénticos, siendo meramente dos designaciones sucesivas para una sola e idéntica realidad. Esta identidad básica de causa y efecto explica el carácter necesario de la relación entre ellos; lo que llamamos relación causal necesaria no es nada más que una transformación de las causas en sus efectos, una transformación que, como ya veía Lucrecio, se deduce de la constancia básica del ser, su indestructibilidad e increabilidad. La relación cau-

---

[2] Siempre que supongamos que la ley de la conservación de energía es válida en *todos* los sistemas de inercia. Compárese J. R. SCHÜTZ, "Princip der Absolutem Erhaltung der Energie", *Nachrichten von d. Königl. Gessellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math.-phys. Klasse* (1897), pp. 110-125.

sal necesaria es meramente una manifestación de la identidad subyacente de la substancia material o energética [3].

Esto significa que todo estado presente en el mundo está contenido en cualquier estado pasado y contiene todos los estados futuros. En términos del modelo cinético-corpuscular de la realidad, significa que si cada estado del universo es representado por una configuración instantánea de los elementos atómicos básicos (ya se llamen átomos, electrones o partículas de éter), entonces cada configuración semejante es lógicamente deducible de cualquier configuración previa, mientras que lógicamente contiene cualquier otra futura. No hay novedad en el universo ; la contingencia, como observó Demócrito siglos antes de Spinoza [4], no es nada más que un síntoma de la ignorancia humana. Los desplazamientos de los átomos y la «redistribución del movimiento» (utilizando palabras de Spencer), mediante los cuales se efectúa la transición de una configuración a otra, se producen según las leyes estrictas de la dinámica, que pueden resumirse en las leyes de la conservación de momento y energía. Los estados sucesivos del mundo se ven unidos por el eslabón de hierro de la necesidad, cuyo carácter intransigente había sido anticipado por el antiguo atomismo y cuya forma matemática específica fue descubierta por la dinámica newtoniana. Las únicas diferencias entre los sucesivos estados del universo se hallan en las diferentes distribuciones espaciales de la materia y la energía ; pero incluso esta diferencia puede desaparecer si se toman en consideración intervalos de tiempo suficientemente grandes, porque no es lógicamente absurdo suponer que puede repetirse la misma configuración de materia y distribución de energía. Además, si suponemos que el universo se compone de un número finito de elementos, *debe* repetirse finalmente el estado idéntico del universo. Así, en el esquema cinético-corpuscular, el tiempo pierde su irreversibilidad y la idea de repetición eterna aparece como su consecuencia lógica. Así desaparece la diferencia esencial entre el pasado y el futuro.

De un modo más abstracto, la misma conclusión se puede derivar del concepto de causalidad. Si la causa y el efecto son lógi-

---

[3] La interpretación de las relaciones causales en los términos de transformaciones de equivalentes energéticos fue propuesta por HERBERT SPENCER (*First Principles*, caps. VII y VIII) y sostenida por W. OSTWALD (*Vorlesungen über Naturphilosophie*, Leipzig, 1902, p. 296; *Grundriss der Naturphilosophie*, Leipzig, 1919, p. 144).

[4] C. BAILEY, *The Greek Atomists and Epicurus*, pp. 142-43; SPINOZA, *Ethica*, I, prop. 33, escol. 1.

camente equivalentes, ello significa que cualquier estado futuro no sólo puede derivarse del estado presente del universo, sino también de cualquier estado pasado. Así el principio de equivalencia lógica de causa y efecto, *causa aequat effectum*, significa que todos los estados sucesivos del universo se implican unos a otros, independientemente de su orden temporal; así lo que llamamos dirección del tiempo se despoja de significado, y el pasado, el presente y el futuro se mezclan en un solo modelo enorme, desprovisto de tiempo. Si decimos que el futuro *se deduce* del presente y que el presente *se deduce* del pasado, la expresión «se deduce» no se debe tomar en sentido temporal; es menos confuso hablar de que el pasado *contiene* o *implica* lógicamente el presente, o que el presente *contiene* o *implica* el futuro. Pero como esta implicación es mutua, es correcto decir, por paradójico que parezca, que no sólo el presente *implica* el pasado, sino que también el futuro *implica* el presente. Así se pierde, al menos virtualmente, la propia sucesión de las fases temporales [5].

Es cierto que esta eliminación del tiempo en la física clásica era únicamente implícita y que los físicos en general hablaban de procesos *naturales*, de *transformaciones* de causas en sus efectos, de determinaciones causales de los sucesos *futuros* y de que el presente *se deduce* del pasado, o que el futuro *se deduce* del presente. Todo esto parecía indicar que creían en la auténtica realidad de la sucesión en el mundo físico [6]. ¿Era esto algo más que una simple *façon de parler*, una simple concesión a los modos de hablar del sentido común? Era la propia ambigüedad de la expresión «se deduce» la que permitía a la mayoría de los científicos creer que la temporalidad y la necesidad son compatibles. Tales expresiones como «antecedente», «consiguiente», «secuencia» y «se deduce» se pueden tomar en sentido lógico o en sentido temporal, pero nunca en ambos sentidos a la vez. Todo lógico se halla consciente de que no se deben confundir estos dos significados. Cuando decimos que cierta conclusión *se deduce* de las premisas, sería absurdo afirmar que la expresión «se deduce»

---

[5] B. Russell escribió en fecha tan reciente como la de 1914: "Haremos mejor admitiendo el efecto antes de la causa o en simultaneidad con ésta, porque nada de importancia científica depende de que sea después de la causa" (*Oour Knowledge of the External World*, Chicago, Open Court, 1914, p. 226).

[6] Sobre la fusión peculiar, pero totalmente común, de dos ideas contradictorias en la mente del determinista medio —la del proceso temporal y la de implicación intemporal—, compárese H. Bergson, *Essai sur les données immédiates de la conscience*, pp. 161-164.

debe ser tomada en sentido temporal. Sin embargo, fue precisamente esta inconsistente fusión de estos dos significados la que sirvió como base a la afirmación de que son compatibles la necesidad rigurosa y la sucesión auténtica. Sólo unas cuantas mentes consistentes —significativamente, las más grandes y filosóficas —vieron con claridad las últimas consecuencias del mecanicismo y se percataron de que el tiempo, en el sentido de sucesión auténtica, no tiene lugar en el consistente esquema necesario. El tiempo, que no posee dirección, excepto en una escala local; el tiempo, que «se mueve» del «pasado» (que retornará) al «futuro» (que ya ha sido); el tiempo, cuyo «movimiento» o «flujo» es sólo aparente, porque su «futuro» es simplemente un presente oculto y disfrazado; el tiempo, en el que no surgen novedades y cuyas fases sucesivas se fusionan en un enorme modelo simultáneo: tal tiempo, evidentemente, carece de todas las facetas esenciales de temporalidad como nosotros la experimentamos y de ningún modo se debe llamar tiempo.

PARTE II

LA DESINTEGRACION DE LA ESTRUCTURA CLASICA Y EL SIGNIFICADO DE LOS NUEVOS CONCEPTOS

CAPITULO DECIMO

La negación del espacio instantáneo

La búsqueda del movimiento absoluto.

Las dificultades inherentes al concepto newtoniano del espacio absoluto sin movimiento se hicieron más conspicuas cuando los físicos de la segunda mitad del pasado siglo empezaron a afrontar seriamente la cuestión de *movimiento absoluto*. Un cuerpo en reposo con respecto al espacio newtoniano se halla en reposo absoluto, mientras que un cuerpo en movimiento con respecto al espacio newtoniano se halla en movimiento absoluto. En otras palabras, el espacio newtoniano absoluto era un marco de referencia necesario para diferenciar con claridad y sin ambigüedades entre movimientos absolutos o reales y movimientos relativos o aparentes. Pero algunas cuestiones quedaban sin ser respondidas en la física clásica. ¿Cuál del número infinito de sistemas de inercia coincide con el espacio newtoniano sin movimiento? ¿Por qué medio empírico se puede identificar el sistema absoluto de referencia? Según la dinámica clásica, un cuerpo en reposo con respecto al espacio newtoniano reacciona contra una aceleración externa mediante las denominadas «fuerzas de inercia»; pero lo mismo hace cualquier otro cuerpo que, con respecto al espacio inmóvil, se mueva con velocidad constante y a lo largo de una línea recta. Todos los sistemas de inercia son *dinámicamente equivalentes* y parece ser asunto de convencimiento considerar a cualquiera de ellos como idéntico al sistema absoluto de referencia. Esto significa que si existe el espacio absoluto sin movimiento, su existencia es inverificable.

Newton también se hallaba consciente de estas dificultades, pero creía tener una prueba experimental decisiva de la existencia del espacio absoluto. Con su famoso experimento mediante un cubo de agua giratorio pretendía demostrar la diferencia entre rotacio-

nes absolutas y relativas [1]. Mientras que las rotaciones se manifiestan por la emergencia de fuerzas centrífugas, que producen la forma característicamente cóncava del líquido que gira, las rotaciones relativas quedan sin tener tal efecto dinámico: la superficie del líquido que gira *con respecto a las paredes de una vasija* queda enteramente plana. Esto indica, según Newton, que el líquido en cuestión se halla en reposo con respecto al espacio absoluto. Todos los sistemas giratorios se dividen así en dos clases dinámicamente distintas: los que van acompañados del nacimiento de fuerzas centrífugas y los que se caracterizan por la ausencia de éstas. La única interpretación de este hecho es, según Newton, que la emergencia de fuerzas centrífugas es un efecto de la rotación absoluta de los cuerpos con respecto al espacio absoluto; la ausencia de tales fuerzas es un indicio de reposo absoluto. El espacio absoluto y el movimiento absoluto se convierten así en conceptos físicos significativos y físicamente verificables.

Pero ¿es ésta la *única* interpretación posible? Ernst Mach y J. B. Stallo [2] indicaron que el resultado del experimento newtoniano se puede interpretar igual de bien si la expresión «con respecto al espacio absoluto» se sustituye por la de «con respecto a las grandes masas estelares del universo». Esta objeción contra la interpretación de Newton acerca de su experimento ya se puede hallar en el pequeño ensayo de George Berkeley, *De motu*, escrito durante la vida de Newton; Berkeley también se anticipó a Mach y Stallo al rechazar radicalmente la idea newtoniana de espacio absoluto [3]. Aun si se retiene la interpretación de Newton acerca del experimento de la vasija giratoria, ello *no* nos ayuda a responder a la pregunta anteriormente formulada: ¿Cuál de todos los sistemas de inercia coincide con el espacio absoluto? El experimento no proporciona ningún criterio mediante el cual se pueda hallar el sistema de inercia privilegiado; el efecto de las fuerzas centrífugas que aparecen en un sistema aparecerían igualmente en *todos los otros sistemas* que se hallen en un movimiento traslativo uniforme con respecto al primer sistema. Esta es una consecuencia natural de la equivalencia dinámica de todos los sistemas de inercia; a esta equivalencia se le dio recientemente el

---

[1] I. NEWTON, *Mathematical Principles*, escolio IV, pp. 10-11.

[2] J. B. STALLO, *The Concepts and Theories of Modern Physics*, pp. 190-200; E. MACH, *The Science of Mechanics*, pp. 280-288.

[3] G. BERKELEY, *De motu*, §§ 60-65.

nombre de *principio de relatividad clásico* o *de Galileo* para diferenciarlo del moderno principio Lorentz-Einstein de la relatividad.

Pero ¿no sería posible identificar el sistema de inercia privilegiado, coincidiendo con el espacio newtoniano, mediante medios *ópticos?* Si todos los marcos de referencia de inercia son dinámicamente equivalentes, ¿no son también *ópticamente* equivalentes? A esta pregunta la física clásica respondió negativamente sin vacilar. Pues, según la física clásica, cualquiera que sea la naturaleza de la luz, ya se componga de corpúsculos o de ondas, su conducta se regía por las leyes de la cinemática clásica. Más concretamente, su velocidad, su dirección de propagación y su frecuencia deben ser diferentes en diferentes marcos de referencia. El principio de Doppler estableció la dependencia de la frecuencia respecto del movimiento relativo de una fuente o de un observador. El descubrimiento que hizo Bradley de la aberración de la luz estableció que la dirección aparente de propagación se ve afectada por el movimiento relativo. ¿Qué cosa era más natural que esperar que la velocidad de la luz se vea similarmente afectada por la misma causa? Pues, según la teoría ondulatoria, cuyo último éxito parecía ser claramente logrado por el experimento de Foucault en 1850, la luz se compone de disturbios periódicos en un medio elástico, identificado más tarde con el éter electromagnético; la velocidad de estos disturbios debe ser naturalmente diferente para los observadores que se muevan a diferentes velocidades con respecto al éter. La velocidad de un disturbio, medida por un observador inmóvil en el éter, tendría un valor privilegiado. Coincidiría con la *verdadera* velocidad de la luz; sería una velocidad con respecto al éter absolutamente inmóvil, o sea, al espacio absoluto. El éter luminífero se convirtió así en una incorporación física concreta del espacio absoluto newtoniano; su existencia, una vez verificada, proporcionaría una pista definida para distinguir entre movimientos absolutos o «verdaderos» y movimientos relativos o «aparentes». Esta línea de razonamiento tuvo que ser aceptada mientras se retuvo la ley clásica para la adición de velocidades; antes del advenimiento de la teoría especial de la relatividad nadie sospechaba, ni siquiera remotamente, que pudiera ser abolida esta ley.

La situación era propicia para el experimento crucial que emprendió Michelson en 1881 y que fue varias veces repetido por él y otros físicos. El experimento indicó de manera concluyente que el movimiento de la tierra a través del éter hipotético no

tiene la más ligera influencia sobre la velocidad de las ondas electromagnéticas; los efectos teóricamente anticipados de tal movimiento, aunque bien por encima de los límites de errores experimentales, *no* ha sido observado. El mismo resultado se obtuvo mediante otros experimentos menos conocidos e históricamente menos famosos, que demostraron que no existe ningún «viento de éter», resultante del movimiento relativo del éter hipotético con respecto a la tierra [4]. Es cierto que, a primera vista, parecía como si los resultados negativos del experimento de Michelson y otros similares se pudiesen explicar por medio de una hipótesis, según la cual el éter es arrastrado por los cuerpos que se mueven a través de él; así no podía levantarse ningún «viento de éter», puesto que los cuerpos que se mueven y el medio circundante se hallarían en reposo relativo. Esta explicación, propuesta primero por el propio Michelson, reapareció mucho más tarde en los libros de algunos oponentes de la teoría de la relatividad —por ejemplo, Hans Driesch—, que no se encontraban suficientemente familiarizados con otros hechos físicos que hacían inaceptable la teoría de completo «arrastre de éter» [5]. La aberración de la luz, descubierta por Bradley, y un arrastre *parcial* de luz en cuerpos móviles transparentes son evidentemente incompatibles con la hipótesis del arrastre *total* de éter. Esta era simplemente la última dificultad, aunque no la más seria, que afrontaba la teoría del éter mecánico; como veremos, fue un *coup de grâce* para la hipótesis de un medio interplanetario que poseyera propiedades dinámicas y cinemáticas comparables a las de los cuerpos ordinarios.

La seriedad del predicamiento en que se había metido la física se ve ilustrada por el intento de G. F. FitzGerald de explicar el resultado negativo del experimento de Michelson. En 1892 [6] suponía que las dimensiones de los cuerpos móviles, que son paralelas a su movimiento, se contraen en una proporción definida, mientras que permanecen constantes las dimensiones perpendiculares a la dirección del movimiento. Así se restauró la igualdad de dos caminos ópticos en el interferómetro de Michelson, y los

---

[4] Ningún efecto del «viento de éter» hipotético fue hallado en un condensador cargado verticalmente suspendido por Trouton y Noble en 1903, ni por Tomaschek y Chase en 1926.

[5] H. Driesch, *Relativitätstheorie und Weltanschauung*, 2.ª edición (Leipzig, 1930), página 13.

[6] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. I, página 404 y siguiente.

rayos reflejados llegan a la misma fase; por consiguiente, no se produce ningún cambio en la orla de interferencia. Hoy esta explicación suele presentarse como espécimen perfecto de una hipótesis *ad hoc*, artificialmente postulada para salvar las apariencias; no se repara en que hay cierta lógica inherente en ella, porque, si fuera cierta, proporcionaría un criterio definido mediante el cual el reposo absoluto se podría diferenciar del movimiento absoluto. Pues, según esta hipótesis, un cuerpo que *realmente* se mueve, o sea, que se mueve con respecto al espacio absoluto, se contrae, mientras que un cuerpo que *realmente* se halla inmóvil, o sea, en reposo con respecto al espacio absoluto, retiene su forma y volumen. Esto, dentro de la estructura de la teoría absolutista del espacio, apenas es paradójico: pues si tienen significado absoluto las posiciones en el espacio, como aún creía Russell a principios de este siglo [7], es simplemente natural que el cambio de lugar deba ser *físicamente distinguible* de la permanencia en el mismo lugar. En otras palabras, si el espacio absoluto sin movimiento es verdaderamente real, no hay nada sorprendente en el hecho de que reaccione de un modo físico verificable contra los movimientos que se producen en él.

Esta era también la idea de Lorentz [8]. Si fuese verdadera la hipótesis de la contracción real de FitzGerald, significaría una vindicación definida de la teoría absolutista del espacio. Esto, a su vez, relegaría la ley de la inercia a la categoría de las leyes simplemente aproximadas, o sea, no básicas. Pues realmente habría una *diferencia dinámica* entre el reposo y el movimiento, una diferencia que escapa a nuestra atención sólo por el valor extremadamente pequeño de la proporción v^2/c^2. Si esto parecía extraño, lo parecía únicamente porque los físicos, después de dos siglos, se habían acostumbrado a la ley de la inercia; pero no debemos olvidar cuán persistente fue la tendencia a descubrir de nuevo la diferencia dinámica entre el reposo y el movimiento, incluyendo el movimiento uniforme y rectilíneo.

No es preciso repetir lo que ya hemos dicho acerca de esta tendencia en la primera parte de este libro; es suficiente recor-

---

[7] B. Russell, «Is Position in Time and Space Absolute or Relative?», *Mind*, N. S., vol. X (1901); reimpreso parcialmente en *The Principles of Mathematics*, capítulo LI, p. 445 y siguiente.

[8] H. A. Lorentz, «Michelson's Interference Experiment» en *The Principle of Relativity*, una colección de memorias originales sobre la teoría especial y general de la relatividad, por H. A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski y H. Weyl, con notas por A. Sommerfeld. Traducción de W. Perret y G. B. Jeffrey (Londres, 1923), páginas 6-7.

dar que en todos estos intentos, desde Kepler al vizconde Samuel, podemos discernir la inclinación a considerar *el principio de la conservación de reposo* como la ley básica de la dinámica, mientras que todo movimiento, incluso incluyendo el movimiento de inercia, era considerado como precisando una explicación mecánica. Pero ¿no es esto realmente acorde con la teoría absolutista del espacio? Si el espacio se compone de posiciones absolutas sin movimiento, ¿no es lógico creer que *no* es indiferente a *ningún* cambio de lugar absoluto, incluyendo el cambio causado por el movimiento de inercia? La contracción de Lorentz-FitzGerald sería precisamente una forma de reacción física mediante la cual el espacio absoluto reacciona al cambio de posición absoluta.

Esto parece hallarse en conflicto con la denominada *inacción causal* del espacio, que era una de las facetas básicas del espacio clásico. En el capítulo II indicamos cómo la relatividad de posición se ve lógicamente ligada a la homogeneidad del espacio, de la que naturalmente se deduce la inacción causal del espacio. Pero, contra esta objeción, los defensores de la teoría absolutista del espacio pueden replicar que la idea de pasividad completa del espacio es inalcanzable y que, incluso para los que insisten sobre la relatividad de posición, el espacio no es indiferente a ciertos tipos de movimiento. ¿No se puede considerar también la emergencia de fuerzas centrífugas y de inercia como una especie de *reacción contra la aceleración vectorial*, una reacción mediante la cual el espacio manifiesta su existencia? Este era el significado del experimento de la vasija giratoria, por lo menos a los ojos de Newton.

Este argumento solamente indica lo difícil que es cualquier separación definida de las propiedades del espacio «puramente físicas» respecto de las «puramente geométricas», incluso dentro de la estructura de la física clásica. Además, no debemos olvidar que la contracción de Lorentz-FitzGerald tiene lugar no con respecto al espacio vacío, sino más bien con respecto al espacio lleno por el éter electromagnético; así el principio de la inacción causal del espacio se conserva mientras mantenemos esta distinción entre el recipiente geométrico y el material que lo llena. Pues es plausible suponer que es el material y no el propio espacio el responsable de efectos físicos concretos como la contracción de FitzGerald o, según el vizconde Samuel y otros, incluso de la propia inercia.

Más tarde veremos que no faltan intentos de construir modelos mecánicos concretos para explicar incluso fenómenos tan re-

cientemente descubiertos como el incremento de masa con la velocidad o la imposibilidad de que un cuerpo material tenga la velocidad de la luz. De este modo, habría sido posible incluso salvar la rigidez de los elementos básicos de la materia: un dogma básico del pensamiento físico clásico. Si los propios electrones son considerados como complejos, compuestos de átomos etéreos mucho más pequeños, entonces la contracción de FitzGerald se explica como cambio de la configuración etérea que constituye el electrón; pero la propia contracción no afecta a la forma ni al volumen de los últimos elementos materiales que componen el medio etéreo. Así, no obstante las apariencias, ni la pasividad del espacio ni la rigidez de los últimos elementos físicos se vieron fatalmente en peligro por el postulado de la contracción longitudinal.

Pero la hipótesis de la contracción conducía a otra dificultad, probablemente más seria. A fin de explicar el hecho de que todos los observadores, moviéndose o no con respecto al denominado éter inmóvil, hallan siempre la misma velocidad de la luz, era necesario introducir otro postulado independiente, según el cual los *movimientos absolutos afectan incluso al flujo del propio tiempo*. Más específicamente, en los marcos móviles de referencia el tiempo transcurre a un ritmo *más lento*, lo cual significa que sus unidades están dilatadas; la proporción de los intervalos de tiempo asociados a los sistemas en reposo con los intervalos dentro de los sistemas que se mueven es

$$\frac{t}{t^1} = 1 : \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

De nuevo es muy pequeña la modificación postulada, debido a la extremada pequeñez de la proporción v^2/c^2, pero esto no disminuye el carácter revolucionario de la hipótesis. La unidad y uniformidad del flujo temporal era una de las presuposiciones básicas de la ciencia clásica, y Newton lo acentuaba explícitamente en su definición de tiempo. La física newtoniana acentuaba igualmente la independencia del tiempo respecto de su contenido físico.

Estas tres facetas del tiempo clásico —unidad, uniformidad e independencia respecto de los sucesos físicos concretos— se ven recusadas por la teoría de dilación de Lorentz, según la cual hay

una *pluralidad de tiempos locales*, siendo cada uno de ellos dependiente de la velocidad de su propio sistema. Tal dependencia significaría la posibilidad de *acción recíproca causal* entre el tiempo y los sucesos que se producen en él: en la hipótesis de la contracción no sólo se ve afectado el ritmo del transcurso de tiempo por la velocidad mecánica, sino que también el tiempo, así retardado, se retarda en la misma proporción que todos los procesos físicos dentro del sistema que se mueve. En otras palabras, el tiempo se halla sujeto a la acción causal por medio de los procesos físicos y, a su vez, afecta a los procesos físicos; desaparecen tanto su independencia como su inacción causal. Hemos visto cómo una gran parte del pensamiento físico clásico insistía tanto en la independencia como en la ineficacia causal del tiempo, que son ambas recusadas por la hipótesis de dilación de Lorentz.

Parecía haber una posible salida de esta dificultad. La teoría absolutista aún podía afirmar que no es el propio transcurso de tiempo, sino simplemente los sucesos físicos *en* el tiempo, los que se ven retardados. Desde luego, tal distinción carece de significado para la teoría relacional del tiempo, pues para un absolutista del tipo newtoniano sigue siendo *la propia esencia* de su idea. En tal idea, hay una distinción ontológica irreducible entre el recipiente homogéneo de una sola dimensión que llamamos tiempo y su contenido concreto, compuesto de sucesos físicos, que lo llena. La teoría de dilación se puede interpretar entonces de la manera siguiente. El transcurso de tiempo absoluto sigue siendo por doquier invariable y su ritmo es medido verdadera y objetivamente por los relojes de los marcos estacionarios de referencia, o sea, estacionarios con respecto al espacio absoluto. En todos los otros sistemas, moviéndose con respecto al espacio absoluto inmóvil, los relojes se retardan en una proporción definida, aunque el tiempo en sí sigue sin sufrir disturbio y continúa transcurriendo al mismo ritmo uniforme y constante de acuerdo con la definición de Newton, independientemente de todos los cambios físicos. En otras palabras, en cualquier otro sistema que no sea el estacionario, hay una discrepancia entre el transcurso absoluto de tiempo vacío y el ritmo de los cambios físicos concretos; esta discrepancia crece con la velocidad mecánica y alcanza su máximo cuando la velocidad mecánica alcanza la velocidad de la luz $(v = c)$. En este caso límite, todos los relojes se pararían; pero, según la teoría absolutista, esto no significa que el tiempo

deje de transcurrir; aun entonces continuaría «transcurriendo uniformemente sin relación a nada externo», utilizando las palabras de Newton. Aun si se paralizasen todos los movimientos, no se suspendería el vuelo del tiempo.

La física clásica vislumbraba esta posibilidad antes de que se descubriera la inalcanzabilidad de la temperatura de cero absoluto. Según la teoría relacional, la eliminación de todos los movimientos y cambios eliminaría también el tiempo; pero ya hemos indicado qué gran parte del pensamiento físico clásico se inclinaba hacia la teoría absolutista. Por eso, tanto el espacio como el tiempo se han convertido en entidades casi extrafísicas en el pensamiento de Newton y sus discípulos, pues la suerte de estas entidades, en virtud de su carácter absoluto e independiente, no dependía de la suerte del mundo material contenido en ellas. También era ésta la idea de Lorentz [9].

Si se acepta tal interpretación de la dilación del tiempo, entonces es necesario explicar por qué los movimientos absolutos retardan el movimiento de los relojes o, más generalmente, todos los procesos periódicos mediante los cuales se mide el tiempo. Tal explicación no era imposible en principio; como en el caso de la hipótesis de la contracción, es de nuevo el concepto de éter el que puede servirnos de ayuda. El movimiento absoluto es un movimiento a través del medio etéreo; se puede concebir, al menos en principio, que hay un efecto frenador que la resistencia de tal medio ejercería sobre el movimiento de un péndulo o movimientos vibratorios que tienen lugar dentro del sistema que se mueve; el hecho de que el efecto retardador es proporcional a la velocidad mecánica sólo incrementa aparentemente la tentación de buscar esta especie de explicación. Así ni la hipótesis de la contracción ni la supuesta dilación de tiempo se hallan en oposición irreconciliable con los conceptos clásicos de espacio y tiempo, si no nos desalienta la dificultad y complejidad de la tarea que requiere tal esfuerzo de reconciliación [10].

Pero éste no fue el camino que eligió la física del siglo XX. Aunque la física moderna retenía tanto la fórmula de contracción de FitzGerald como la fórmula de Lorentz para la dilación de tiempo, ambas fórmulas se interpretan ahora en un sentido *total-*

---

[9] H. A. LORENTZ, «La Gravitation», *Scientia*, vol. XVI (julio 1914), p. 35.

[10] Las enormes dificultades de los modelos mecánicos del éter fueron enumeradas por H. WITTE, *Über den gegenwärtigen Stand der Frage nach einer mechanischen Erklärung der elektrischen Erscheinungen* (Berlín, 1906); compárese también el mismo autor, *Annalen der Physik*, vol. 26 (1908), p. 235.

mente diferente del significado original cándidamente realista. La diferencia principal entre la actitud de Einstein y la de Lorentz y FitzGerald era que Einstein consideraba el resultado negativo de todos los experimentos que establecían la constancia de la velocidad de la luz como una de las facetas últimas e irreducibles de la realidad física, mientras que Lorentz y FitzGerald esperaban *explicar* la constancia de la velocidad de la luz como una especie de afortunada o desafortunada coincidencia que puede ser derivada de las leyes no modificadas de la mecánica clásica. Hemos indicado anteriormente cuán fuerte era la tentación de elegir el segundo camino; toda la tradición del pensamiento físico pesaba mucho en su favor. La atrevida originalidad de Einstein radicaba en resistir esta tentación. Aceptando el hecho de una velocidad constante de la luz como principio primario, Einstein no tuvo otra alternativa que extraer de ella todas las consecuencias; sólo gradualmente se hizo evidente que esto implicaba una completa reconstrucción de los fundamentos de la dinámica y cinemática clásicas.

Aquí no tenemos lugar para un estudio detallado de la teoría especial de la relatividad; para nuestro propósito, será suficiente señalar cómo se han transformado radicalmente en ella los conceptos clásicos básicos de espacio, tiempo, materia y movimiento. Por razones que discutiremos más tarde, el carácter revolucionario de esta transformación no ha sido siempre plenamente observado, particularmente en cuanto se refiere al concepto de espacio.

La relatividad de la simultaneidad.

La aceptación del principio de la velocidad constante de la luz implicaba una negación no sólo de la idea del éter, sino también de *todo marco absoluto de referencia que sirviese como medio de diferenciar entre movimientos «aparentes» y «reales»*; en otras palabras, *una negación del espacio absoluto sin movimiento de Newton*. Esto se puede ver analizando la relativización de la simultaneidad, que es una de las consecuencias más conspicuas del principio de velocidad luminosa constante.

La física clásica consideraba toda la historia del mundo físico como una sucesión continua de configuraciones materiales instantáneas. Cada una de estas configuraciones representaba «un estado del mundo en un instante dado», siendo cada una una sec-

ción transversal instantánea del proceso universal espaciotemporal. Los términos« secciones transversales instantáneas» y «cortes instantáneos» son metáforas extremadamente sencillas. Incluso la física clásica tenía su idea *del continuum* espaciotemporal de cuatro dimensiones que no era nada más que una representación gráfica del modo en que se creía entonces que estaban relacionados el espacio y el tiempo. No es preciso decir que el concepto clásico de espacio-tiempo es profundamente diferente del concepto espacio-tiempo de la teoría de la relatividad, pero la estructura de ambos conceptos, así como sus diferencias, se estudian más convenientemente sobre los correspondientes modelos tridimensionales. Tales modelos son necesarios por nuestra inherente incapacidad de imaginar la cuarta dimensión. Aunque este procedimiento implica, como demostraremos más tarde, ciertas ideas desde el punto de vista epistemológico, tiene la ventaja definida de exhibir más claramente la relación del espacio con el tiempo en su síntesis respectiva, ya clásica o moderna. Un procedimiento análogo se utilizó victoriosamente cuando las propiedades de los espacios curvos no euclidianos fueron imaginadas por sus modelos de dos dimensiones.

En el modelo tridimensional del concepto clásico de espacio-tiempo su componente espacial se representa por un plano euclidiano, ya vertical u horizontal, mientras que la «cuarta dimensión del tiempo» se simboliza por una línea recta perpendicular a este plano. En realidad, hay un número infinito de espacios instantáneos sucesivos, simbolizados por planos paralelos, todos perpendiculares al eje del tiempo; cada uno de estos espacios contiene una configuración instantánea de elementos materiales que representa «la naturaleza en un instante dado». Una de estas secciones transversales instantáneas del proceso universal simboliza el estado presente del universo. Todos los puntos contenidos en cada sección transversal instantánea son simultáneos en un sentido absoluto; en otras palabras, cada espacio instantáneo es un substrato objetivo de sucesos simultáneos *. La íntima conexión entre el espacio absoluto y la simultaneidad absoluta apenas se puede exhibir con mayor claridad; los dos conceptos se hallan tan íntimamente relacionados que se suscita la cuestión de si son realmente diferente. Si el espacio se define como yuxtaposición de puntos, es obvio que los términos en cuestión son considerados

* Véase diagrama en pág. 226.

como *coexistentes*, o sea, existiendo *simultáneamente* y nunca en sucesión. Hemos visto cómo Kant, que tan profundamente se hallaba imbuido del espíritu de la física clásica, no observaba esta intemporalidad del espacio clásico [11]. También Bergson insistió sobre el mismo punto en su primer libro cuando trazó una clara línea divisoria entre la yuxtaposición y la sucesión. Whitehead, aunque distinguía entre el espacio «intemporal» y el «instantáneo», acentuó con igual fuerza que no es posible ninguna relación sucesiva en cada espacio instantáneo; de esto incluso deducía que el concepto de «velocidad instantánea», por útil que sea como aparato metodológico, carece de significado [12], hablando filosóficamente. Por otra parte, cuando aplicamos el principio de la identidad de indiscernibles, es difícil ver alguna diferencia entre la clase de sucesos simultáneos y el «espacio instantáneo» de la física clásica; este último es meramente un término colectivo aplicado a los anteriores. El espacio instantáneo (*Momentraum* en la terminología de Carnap [13]) está *constituido* por sucesos simultáneos. Lo que parece desorientador es la expresión «sucesos», que en el lenguaje ordinario tiene una connotación dinámica y se refiere a extensiones finitas de duración; pero no debemos olvidar que los momentos del tiempo clásico son considerados como estrictamente instantáneos, o sea, desprovistos de todo espesor temporal. Por esto, el término «puntos universales» (*Weltpunkte*) sustituía frecuentemente al término «sucesos». Por consiguiente, hay simplemente una diferencia semántica entre la expresión «clase de sucesos simultáneos» y «espacio en un momento dado».

El espacio de la física clásica era *el* marco absoluto de referencia que hacía posible no sólo una verdadera y objetiva diferenciación entre movimientos absolutos y relativos, sino también entre simultaneidad «aparente» y «real» de sucesos. Más concretamente: a todos los sucesos instantáneos en la tierra corresponden los sucesos instantáneos en todas las estrellas distantes, que son exactamente simultáneos con ellos. No sabemos de tales sucesos inmediatamente y, al menos, deducimos su existencia más tarde por los mensajes luminosos recibidos a veces siglos después del

---

[11] Véase capítulo III, nota 24.

[12] H. BERGSON, *Essai sur les données inmédiates de la conscience*, p. 81; A. N. WHITEHEAD, *An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge*, 2.ª edición (Cambridge University Press, 1925), p. 2.

[13] R. CARNAP, «Über die Abhängigheit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit», *Kant-Studien*, Bd. 30 (1925), pp. 339-340.

propio suceso. Antes del descubrimiento de la velocidad finita de la luz no había diferencia entre simultaneidad aparente o real; no existía ninguna distinción entre «ahora visto» y «ahora real». La creencia en la velocidad finita de la luz, anticipada por los antiguos atomistas, era considerada en la Edad Media como herejía, y la Universidad de París en 1348 obligó a Nicolás d'Autrecourt a renunciar públicamente de tal idea [14]. Cuando la famosa estrella nueva fue descubierta por Tycho Brahe en 1572, se creía mayormente que coincidían la fecha de su observación y la fecha del propio suceso; tal creencia era simplemente natural un siglo antes del descubrimiento de Olaf Roemer, que marcó una época.

Cuando se estableció finalmente la velocidad de la luz, se tuvo que hacer la distinción entre «ahora visto» y «es ahora», al menos en observaciones astronómicas. Un cielo estrellado visto en una clara noche estival es un ejemplo de esta *espuria* simultaneidad de espacio *aparente;* las estrellas fijas que aparecen como puntos luminosos distribuidos simultáneamente en nuestro percibido cielo presente se ven no como *existen* ahora en lo profundo del espacio, sino como *existieron* hace algún tiempo. ¿Cuánto tiempo hace? La respuesta es fácil si conocemos la distancia de un objeto observado y también su velocidad relativa con respecto a la tierra; entonces simplemente tenemos que dividir la distancia correspondiente por la velocidad de la luz, disminuida o aumentada por la velocidad relativa de la fuente y observador. El resultado representaría un intervalo de tiempo que separa un suceso pasado observado de la fecha de nuestra percepción presente. Restando este intervalo de la fecha presente obtenemos finalmente la fecha verdaderamente objetiva de un suceso observado en el tiempo absoluto newtoniano.

Esto significa que nuestra percepción hace que parezcan simultáneos sucesos que son de edad muy diferente y que sólo tienen una cosa en común: que sus mensajes póstumos, por decirlo así, llegan a nuestros ojos al mismo tiempo. Mientras que el mensaje luminoso de la luna tiene sólo un segundo de edad, el de la estrella polar tiene cincuenta años de edad. Pero hay sucesos reales, no sólo en la luna y en la estrella polar, sino también en todos los cuerpos celestes distantes, que son *verdadera* y *objetivamente* simultáneos con nuestra percepción presente del cielo estival. En

[14] K. Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, I, 157-158.

otras palabras, se creía que hay un instante universal absoluto, que se extiende a través de todo el universo, conteniendo todos los sucesos verdaderamente simultáneos. Este corte transversal instantáneo del proceso universal es meramente otro término para el espacio absoluto; contiene todos los sucesos que tienen la misma fecha en la corriente del tiempo newtoniano.

Pero esta determinación de fecha retrospectiva fue posible únicamente porque se creía que el teorema clásico de adición de velocidades se puede aplicar a la luz, y que la velocidad de la luz se puede tratar del mismo modo que la velocidad del sonido o cualquier otra velocidad mecánica. Pero esto es precisamente imposible si aceptamos la constancia de la velocidad luminosa impuesta por la experiencia: la velocidad mecánica de los cuerpos que se mueven no puede ser sumada vectorialmente a la velocidad de las ondas electromagnéticas. Esto significa que todo el procedimiento mediante el cual se reconstruía la «verdadera» simultaneidad de los sucesos pasados se ve privado de su fundamento. Todavía podemos dedicarnos a calcular la fecha de cualquier suceso pasado distante: por ejemplo, la fecha de la explosión de la estrella nueva que apareció en nuestro cielo terrestre en 1572. Pero no podemos esperar que obtengan el mismo resultado los observadores que se muevan a velocidades diferentes con respecto a nuestro marco de referencia. En otras palabras, las «secciones transversales instantáneas» son diferentes para los diferentes sistemas de inercia: el «ahora» inferido por mí es generalmente diferente para otros observadores que se mueven. Y negando la existencia objetiva del «ahora» cósmico universal, o, con palabras de Eddington, de un «instante universal» [16], negamos implícitamente la existencia objetiva de los espacios instantáneos, cada uno de los cuales es considerado como una capa tridimensional en el proceso universal de cuatro dimensiones, una capa sobre la que se hallan localizados todos los «sucesos verdaderamente simultáneos». Tales espacios clásicos instantáneos no existen literalmente; en lenguaje menos provocativo, se hallan contenidos en el *continuum* espaciotemporal dinámico, del que son tallados únicamente por medio de operaciones artificiales. Tales operaciones eran imposibles en la física clásica, donde el espacio y el

[16] A. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Cambridge University Press, 1933), pp. 42-47.

tiempo sólo se hallaban unidos de una manera relajada; la estructura del concepto clásico de espacio-tiempo cedió, naturalmente, a la separación de los dos componentes, porque la conversión de cuatro dimensiones era definida como una sucesión continua de espacios instantáneos. Pero la imposibilidad de una operación divisoria, mediante la cual el componente espacial se separase del componente temporal, mide exactamente la enorme diferencia entre el concepto de espacio-tiempo clásico y el relativista.

CAPITULO UNDECIMO

La fusión del espacio con el tiempo y su representación errónea

El engaño de la espacialización.

La imposibilidad de separar el espacio respecto del tiempo fue por primera vez claramente formulada por H. Minkowski en 1908 [1]. Fue entonces cuando el *continuum* relativista de espacio-tiempo quedó explícitamente formulado, aunque matemáticamente se hallaba implícito en la transformación de Lorentz.

Tan pronto como se propuso esta fusión de espacio y tiempo, ciertas influencias psicológicas (que discutiremos con detalle más adelante) entraron en juego y desfiguraron peculiarmente su significado. La propia elección de la palabra que Minkowski utilizó para designar esta fusión era característica: el *continuum* de cuatro dimensiones de sucesos-puntos era llamado por él «el mundo» *(die Welt)*. Esto indicaba que comprendía esta fusión como operación en la que el componente temporal era absorbido por el espacial. En esta conexión Minkowski no se hallaba solo. Emile Meyerson, en su comentario filosófico sobre la teoría de la relatividad, da una larga lista de pensadores, tanto filósofos como físicos, que consideraban la propuesta fusión como una *espacialización de tiempo;* según ellos, el propio tiempo se ha convertido en una cuarta dimensión adicional del espacio en que todos los sucesos, «pasados», «presentes» y «futuros», se hallaban yuxtapuestos. Según el propio Einstein, «lo que viene a ser» en el espacio tridimensional se ha transformado en «ser» en el mundo de cuatro dimensiones; según Hermann Weyl, «el mundo objetivo

[1] H. Minkowski, "Space and Time", traducción de una alocución pronunciada en la LXXX Asamblea de Científicos Naturales y Físicos Alemanes en Colonia, el 21 de septiembre de 1908. En Lorentz y otros, *The Principles of Relativity*, pp. 75-91.

es, no viene a ser»; sólo parece que viene a ser a «los ojos vendados de nuestra conciencia» *(abgeblendete Bewusstsein)*, que se introduce en el futuro[2] a lo largo de su «línea universal». Según Cunningham[3]:

Con Minkowski, el espacio y el tiempo se convierten en aspectos particulares de un concepto individual de cuatro dimensiones; se pierde la distinción entre ellos como modos separados de correlacionar y ordenar los fenómenos, y el movimiento de un punto en el tiempo se representa como una curva estacionaria en espacio de cuatro dimensiones. Ahora bien, si todos los fenómenos de movimiento son considerados desde este punto de vista, se hacen fenómenos intemporales en el espacio de cuatro dimensiones. Toda la historia de un sistema físico queda planteada como un todo invariable.

Es apenas sorprendente que Cunningham relacione este concepto estático de espacio-tiempo con el tipo de determinismo de Laplace[4]:

Tal idea del universo es inseparable de un determinismo mecánico en el que el futuro es determinado inalterablemente por el pasado y en el que el pasado únicamente puede inferirse del estado presente del universo. Es la idea de una inteligencia que podría abarcar de una sola ojeada todo el tiempo y el espacio.

Ni es tampoco sorprendente encontrar entre los representantes de esta idea la creencia de que la teoría de la relatividad fue anticipada por H. G. Wells en su famosa novela *The Time Machine*, donde un viajero ficticio se mueve a lo largo de la «cuarta dimensión» con la misma libertad que a lo largo de las tres dimensiones del espacio. En un ensayo reciente, Kurt Gödel considera seriamente la idea de Wells acerca de un viaje de ida y vuelta «a cualquier región del pasado, presente y futuro». Es incluso más significativo que el propio comentario de Einstein acerca de esta cuestión no sea desfavorable[5]. La misma idea fue expresada por Ernst Cassirer cuando afirmó que en la teoría de

---

[2] E. Meyerson, *La Déduction relativiste*, pp. 98-101; H. Weyl, *Was ist Materie?* (Berlín, 1924), pp. 82, 87.

[3] E. Cunningham, *The Principle of Relativity* (Cambridge, 1914), p. 191.

[4] *Ibid.*, p. 213.

[5] L. Silberstein, *The Theory of Relativity* (Londres, 1914), p. 134; Kurt Gödel, "A Remark about the Relationship between Relativity Theory and Idealistic Philosophy"; A. Einstein, "Remarks to the Essays Appearing in this Collective Volume". Ambos en *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, edición de P. A. Schilpp (Evanston, 1949), pp. 560, 687-688.

la relatividad desaparece la anisotropía del tiempo, pues la distinción entre el pasado y el futuro es puramente convencional, comparable a la diferencia entre los signos «más» y «menos» en el espacio. Tanto Weyl como Cassirer veían en la teoría de la relatividad una confirmación de la idea de Kant acerca de la idealidad del tiempo: el tiempo, siendo solamente una forma de nuestra percepción, no puede ser aplicado a las «cosas en sí» [6].

Había algunas importantes voces disconformes, tanto entre los físicos como entre los filósofos. Paul Langevin fue uno de los primeros que protestaron contra «la cuarta dimensión del espacio» como denominación para el tiempo. El propio Einstein admitió que la asimetría del tiempo se conserva incluso en su fusión relativista con el espacio cuando reconoció que «no podemos enviar mensajes telegráficos al pasado». Cuando Meyerson, en la sesión de la Sociedad Filosófica Francesa del 6 de abril de 1922, insistió sobre la distinción de espacio y tiempo incluso en la teoría de la relatividad, Einstein, que asistía a la sesión, asintió explícitamente. El argumento de Meyerson fue plenamente desarrollado en su libro *La Déduction relativiste*, y Einstein, en su comentario altamente favorable acerca de ello, elogió de nuevo a la crítica de Meyerson sobre la espacialización del tiempo. Según Einstein, la espacialización del tiempo es una interpretación errónea de la teoría de la relatividad, una interpretación errónea cometida no sólo por los popularizadores, sino incluso por muchos científicos, aunque a menudo sólo se halla implícitamente presente en su mente [7]. Weyl, cuando estaba de un humor menos kantiano, advirtió contra una fácil confusión de espacio y tiempo y afirmó que es más exacto hablar del *continuum* de 3 + 1 dimensión que de la entidad de cuatro dimensiones [8]. En la misma década, Eddington, Bridgman y G. N. Lewis, entre los físicos, y Whitehead, Bergson y Reichenbach, entre los filósofos, hicieron advertencias análogas [9].

---

[6] H. Weyl, *op. cit.*, p. 87; E. Cassirer, *Zum Einstein'schen Relativitätstheorie* (Berlín, 1921), p. 119.

[7] P. Langevin, "L'aspect général de la théorie de la relativité", *Bulletin scientifique des étudiants de Paris*, núm. 2 (1922), p. 6; *Bulletin de la Société française de philosophie*, 6 de abril de 1922, p. 112; E. Meyerson, *op. cit.*, pp. 102-110; A. Einstein, "A propos de la déduction relativiste de M. E. Meyerson", *Revue philosophique*, vol. CV (1928), p. 165.

[8] H. Weyl, *Space-Time-Matter*, traducción de H. L. Brosse (Londres, 1922), p. 283.

[9] A. E. Eddington, *Space, Time, Gravitation* (Cambridge, 1920), pp. 51-52;

¿Cuál es entonces el verdadero significado de la fusión relativista de espacio y tiempo? El propio hecho de que había un desacuerdo acerca de esta cuestión no sólo entre los filósofos, sino también entre los físicos, y que incluso los fundadores de la teoría, como Einstein y Weyl, no eran siempre consistentes en sus interpretaciones, indica la necesidad de un análisis aclaratorio. En las páginas que siguen intentamos demostrar, primero, que la espacialización del tiempo es una ilusión filosófica perenne que tiene sus raíces en los modos de pensamiento que caracterizan la mayor parte de la tradición filosófica y científica; segundo, que ésta espacialización del tiempo, en vez de ser una interpretación correcta de la teoría de la relatividad, es precisamente una distorsión de su verdadero significado, una distorsión que fue posible por la persistente influencia de los hábitos intelectuales anteriormente aludidos; tercero, que una interpretación cuidadosa de la misma teoría indica que la fusión de espacio y tiempo se caracteriza más exactamente como *temporalización* o *dinamización* del espacio que como espacialización del tiempo, y, finalmente, que esta dinamización del espacio no significa una negación caprichosa del espacio o su reducción caprichosa a un *continuum* de tiempo de una sola dimensión, sino únicamente su incorporación en un tipo de venir a ser que, junto con su desdoblamiento temporal dinámico, todavía posee, por decirlo así, cierta extensión *transversal* o *anchura.*

La naturaleza del engaño de espacializar el tiempo y su influencia trascendentalmente desastrosa siguen siendo en gran manera erróneamente interpretados, a pesar de las repetidas advertencias de Bergson, Meyerson, Whitehead y sus seguidores. Sin embargo, es cierto que lo que se puede llamar *tradición eleática* es uno de los más persistentes rasgos del pensamiento filosófico. Aunque Parménides y sus sucesores inmediatos permanecieron aislados en su radical y extremada negación de cambio y sucesión,

---

P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, Macmillan, 1948), p. 74; G. N. Lewis, *The Anatomy of Science* (Yale University Press, 1926), p. 81; A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, cap. II, especialmente pp. 53-54; también p. 178; H. Bergson, *Durrée et simultanéité* (2.ª ed., París, 1923), en particular cap. IV; H. Reichenbach, *Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, p. 134 (concerniente a la interpretación estática errónea del "mundo" de Minkowski). La idea de Eddington fue erróneamente interpretada por Meyerson; el pasaje citado por él (*La Déduction relativiste*, p. 100) representa la idea estática que Eddington *rechaza*, como indica el contexto. Véase también Eddington, *The Nature of the Physical World* (Cambridge, 1928), pp. 50-52, 55-58.

fueron seguidos por muchos filósofos en su insistencia sobre la cuestión de que la verdadera realidad es intemporal, y que el cambio y la sucesión pertenecen simplemente al reino de apariencias vagas y variables. Esta creencia en el contraste entre la verdadera e invariable realidad y el reino semirreal es común a Plàtón, Plotino, los filósofos medievales, Spinoza, Kant, Schopenhauer, Bradley y McTaggart, para nombrar sólo unos cuantos, y el hecho de que se halla presente bajo diversas vestiduras terminológicas en pensadores tan diferentes durante períodos tan diferentes hace que sea más significativa. La tendencia se halla presente no sólo en filósofos de inclinaciones idealistas, sino igualmente, aunque de manera menos explícita, entre filósofos de mentalidad naturalista y científicos de mentalidad filosófica.

En este segundo grupo el rasgo mental eleático toma precisamente una forma menos conspicua, pero igualmente radical en sus implicaciones, de la espacialización del tiempo. Es apenas accidental que los primeros intentos de simbolizar el tiempo mediante una línea geométrica infinitamente divisible tuviesen como resultado la negación de cambio y movimiento de Zenón y su defensa de la Unidad inmutable de Parménides. La eliminación del tiempo y su espacialización se hallan íntimamente relacionadas, siendo simplemente esta última una forma más concreta de la anterior. Pero la espacialización del tiempo sólo tomó una forma más sistemática en el período moderno, en simultaneidad con el desarrollo de la geometría analítica y la mecánica clásica. Descartes, que fue fundador de la primera y cofundador de la segunda, sólo fue consistente cuando llamó al tiempo «dimensión» y cuando llevó la analogía entre un punto geométrico y un instante de tiempo a sus consecuencias lógicas, aunque absurdas en definitiva. Pues Descartes, siguiendo en esta conexión a los atomistas árabes, y dándose cuenta de que ningún eslabón dinámico se puede obtener lógicamente entre los instantes sin transcurso y puramente externos, era correctamente consistente al sacar la conclusión de que nuestro mundo está perpetuamente pereciendo y continuamente creándose de nuevo. Así la divina *creatio continua* proporcionó el eslabón dinámico que hacía falta para unir los instantes sin duración [10].

---

[10] Con respecto a este problema de la filosofía de Descartes, véase JEAN WAHL, *Du rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, 2.ª ed. (París, 1953), pp. 18-19. Sobre la noción de las substancias instantáneas en el atomismo árabe de

Al simbolizar el tiempo por el eje *t* (de variables independientes) no hubo al principio ningún intento consciente de espacializar el tiempo. El carácter dinámico y progresivo del tiempo era simbolizado por un movimiento ideal del presente a manera de punto que se desliza a lo largo del eje del tiempo, desde el pasado al futuro. Pero al contemplar un diagrama espacial del proceso temporal es fácil y psicológicamente natural olvidar su significado dinámico subyacente. Cualquier símbolo espacial contemplado en un momento dado se halla *completo,* o sea, todas sus partes se dan *a la vez,* simultáneamente, en contraste con la realidad temporal que, por su propia naturaleza, es *incompleta* y cuyas «partes» —si se nos permite utilizar un término tan inadecuado— son por definición sucesivas, o sea, no simultáneas. El simbolismo espacial nos hace olvidar la diferencia esencial entre la yuxtaposición y la sucesión y reducir las diferencias entre el pasado, presente y futuro a simples *diferencias de posición:* los sucesos «pasados» están simbolizados por las posiciones situadas a la izquierda del punto que representa el «presente», mientras que los sucesos «futuros» se hallan a la derecha del mismo punto en el mismo «eje temporal» ya trazado. Así el diagrama espacial sugiere la idea equivocada de que los momentos sucesivos ya *coexisten* y que no es auténtico su carácter de pasado y futuro, sino únicamente «fenoménico» o «aparente».

Desde tal punto de vista, los sucesos futuros ya existen, y lo que llamamos su ocurrencia futura sólo es una formalidad sin importancia, inevitable para una conciencia humana finita, pero no para una inteligencia sobrehumana, exenta de limitaciones humanas. Es verdad que cuando Laplace hablaba de tal inteligencia sobrehumana no se refería al Dios medieval, sino únicamente al orden impersonal de la naturaleza en el que las ocurrencias pasadas, presentes y futuras se ven intemporalmente contenidas; pero su punto de vista estrictamente determinista no era, después de todo, básicamente diferente de las ideas medievales y protestantes originales acerca de la predestinación. El Dios de Santo Tomás y Calvino compartía con el orden impersonal de la naturaleza de Spinoza y Laplace la propiedad de abarcar en un solo acto temporal toda la historia del universo. Esto es lo que Char-

Mutakallimun, véase K. LASSWITZ, *Geschichte der Atomistik von Mittelalter bis Newton,* vol. I, pp. 141-146.

les Hartshorne llamaba «alianza secreta» entre el determinismo teológico y naturalista [11].

Así la tendencia a espacializar el tiempo era enteramente acorde con la idea de determinación clásica o más bien predeterminación. Cuando Descartes y d'Alembert llamaron «cuarta dimensión» a la duración, y cuando Lagrange caracterizó la mecánica como «geometría de cuatro dimensiones», simplemente preparaban el camino para la visión de Laplace acerca de la realidad, que pertenece a la misma tradición que las ideas clásicas de Parménides y Spinoza. El universo, con toda su historia, se concibe como un bloque individual enorme e intemporal, dado a la vez. En tal esquema, el propio tiempo, como inteligentemente observó Bergson, se reduce a «nuestra incapacidad de conocer todo a la vez» [12].

Es precisamente por esta persistente tendencia eleática, aflorando de nuevo en la espacialización del tiempo, que el verdadero significado de la teoría de la relatividad se vio peculiarmente desfigurado. A veces los que interpretan el concepto relativista de espacio-tiempo en el sentido de la entidad intemporal de cuatro dimensiones se hallan conscientes de su afinidad con la tradición eleática; esto sucede, por ejemplo, a Kurt Gödel, que ve en la teoría de la relatividad una confirmación de las ideas de Parménides, Kant y McTaggart [13]. Si esto fuese cierto, la teoría de la relatividad sería una simple continuación e incluso una culminación de la principal tendencia de la física clásica que, como hemos tenido oportunidad de ver, relegó a último término la realidad de tiempo. ¿Se podría haber realizado el ideal de la eliminación del tiempo de Laplace de una manera más completa y exacta que en la idea de que todos los sucesos futuros *existen ya* en la *ya trazada* cuarta dimensión del espacio, que sólo nuestra ignorancia interpreta como proceso de desdoblamiento sucesivo? Aunque la expresión «espacio-tiempo» se utiliza todavía, el componente «tiempo» es una simple palabra; denota la cuarta dimensión estática que en virtud de su carácter completo es algo esencialmente intemporal, y en la que no hay «antes» ni «después». Spinoza, que también excluyó la sucesión de entre los atributos de la última realidad y que, más de un siglo antes de La-

---

[11] C. HARTSHORNE, "Contingency and the New Era in Metaphysics", *Journal of Philosophy*, vol. XXIX (1932), p. 429.

[12] H. BERGSON, *Creative Evolution*, p. 45.

[13] K. GÖDEL, *loc. cit.*, p. 557.

place y Kant, redujo el tiempo a «conocimiento confuso e inadecuado», se sentiría ciertamente complacido [14].

Sólo trataremos brevemente de una dificultad epistemológica extremadamente seria que surge cuando el tiempo se ve privado de un *status* ontológico y reducido a una simple apariencia. Pues al relegar el tiempo al mundo fenoménico, se crea un dualismo intolerable entre el reino de las apariencias, que se producen en el tiempo, y el reino de los noumenos intemporales. Todos los sistemas estáticos, desde Parménides y Bradley y McTaggart, se ven plagados del mismo problema: Si la verdadera realidad es intemporal, *¿de dónde viene la ilusión de la sucesión?* Si el tiempo no tiene realidad auténtica, ¿por qué parece que es real?

No se puede hallar una solución que no introduzca subrepticiamente la realidad del tiempo *en alguna parte.* Si la realidad ilusoria del tiempo no es nada más que un levantamiento gradual del telón de la ignorancia que separa nuestra mente de una percepción completa e intemporal, entonces al menos *este proceso de levantamiento es aún un proceso que se desarrolla gradualmente sin darse a la vez;* pero, reconociendo esto, admitimos la realidad del tiempo, ya en nuestra mente o *entre* nuestra mente y la denominada realidad intemporal.

A la luz de esto, no es difícil ver que el intento históricamente más reciente de eliminar el tiempo y la sucesión falla tanto en su último propósito como en todos los anteriores. Aun si consideramos la espacialización del tiempo como interpretación indiscutiblemente correcta de la teoría de la relatividad, y aun si admitimos con Cassirer que en el mundo físico la distinción entre el pasado y el futuro es tan arbitraria como la distinción entre las direcciones positiva y negativa de una línea recta en el espacio, la sucesión *no* queda eliminada, pues continúa sin ser recusada en su último refugio: la propia conciencia [15]. Cuando Hermann Weyl afirma que el mundo objetivo *es* y no viene a ser, tiene que admitir que al menos «nuestra conciencia vendada» se *introduce* a lo largo de la línea universal de su propio cuerpo en la zona

[14] B. SPINOZA, *Ethica,* II, prop. 44, corol. II: "[res] quaeque propterea *absque ulla temporis relatione,* sed sub quadam aeternitatis specie debent concipi". [Hemos añadido la cursiva.]

[15] Compárese mi artículo "The Doctrine of Necessity Re-examined", *The Review of Metaphysics,* vol. V, núm. 1 (sept. 1951), especialmente pp. 27-30, donde traté de demostrar que no puede ser considerado como victorioso el intento de Kant de eliminar la sucesión del reino noumenal.

del universo llamada «futuro»; o cuando se dice que encontramos los sucesos futuros preexistentes *en nuestro camino hacia el futuro*, reconocemos que aun si el futuro se halla completo, nuestro camino hacia el futuro *continúa todavía.* Es evidente que, aunque el esquema universal de Minkowski elimina la sucesión en el mundo físico, reconoce al menos *el movimiento de nuestra conciencia* hacia el futuro. Así surge un dualismo absurdo del mundo físico intemporal y la conciencia temporal, o sea, un dualismo de dos reinos totalmente disparatados cuya correlación se hace completamente ininteligible. En tal idea, el futuro se convierte simplemente en un *presente distante* que está separado de nuestro denominado presente por el segmento de la cuarta dimensión que llamamos tiempo; significa, por ejemplo, que estamos ya muertos sin darnos cuenta de ello ahora; pero nuestra conciencia, arrastrándose a lo largo de la línea universal de su propio cuerpo, llegará ciertamente a algún suceso preexistente y nominalmente futuro que, en su estado completo, *espera* ser finalmente alcanzado por nuestra conciencia. Pero nuestra conciencia futura no creará este suceso, lo mismo que el descubrimiento de Colón no creó el continente americano. A tan extrañas consecuencias conducen la espacialización del tiempo y el determinismo estricto; tienen una raíz común: la sustitución griega de Venir a Ser por Ser.

La irreversibilidad de los eslabones causales y la relatividad de la yuxtaposición.

Pero ¿se halla realmente espacializado el tiempo en la teoría de la relatividad? La denominada espacialización del tiempo se produce simplemente en las imaginaciones de algunos intérpretes que, al retener los hábitos clásicos de pensamiento, siguen el camino de la resistencia menos psicológica. Para demostrar esto no necesitamos recurrir al último argumento epistemológico a fin de defender la realidad de tiempo y cambio; un detallado y cuidadoso análisis del contenido *físico* de la teoría espacial de la relatividad será suficiente para este propósito.

Aparentemente, el argumento más convincente para una interpretación errónea estática de la fusión de espacio y tiempo es la relatividad de la simultaneidad. Una pareja de sucesos que tienen simultaneidad en nuestro marco de referencia ya no son simul-

táneos en otros sistemas de inercia. Y lo que parece aún peor, algunos sucesos que aparecen en sucesión en un sistema pueden aparecer incluso en un orden inverso de sucesión en algunos otros sistemas. Como no hay ningún sistema privilegiado que imparta un signo de objetividad a uno de estos sistemas, ¿qué *status objetivo* pueden poseer todavía el tiempo y la sucesión? ¿No substancia así la teoría de la relatividad la idea kantiana e idealista acerca de una naturaleza puramente fenoménica del tiempo? Hemos visto cuán fuerte era la tentación de sacar esta conclusión, especialmente para los neokantianos.

El principal defecto de este razonamiento es que comienza por una hipótesis equivocada. Simplemente no es cierto que la simultaneidad y la sucesión de sucesos sean pura e ilimitadamente relativas. Incluso una ligera inspección de las fórmulas de Lorentz y Minkowski descubre tres casos que son rara vez analizados, si es que se los menciona, en exposiciones populares de la relatividad:

a) La simultaneidad y sucesión de los sucesos isotópicos, o sea, sucesos que se producen en el mismo lugar.
b) La simultaneidad de los sucesos *heterotópicos*, o sea, de los sucesos que se producen en diferentes lugares.
c) La sucesión de sucesos heterotópicos *causalmente relacionados*.
d) La sucesión de sucesos que *no tienen* conexión causal.

a) Tanto la simultaneidad como la sucesión de los sucesos isotópicos son *topológicamente invariantes* con respecto a todos los posibles marcos de referencia. En otras palabras, la simultaneidad y sucesión de los sucesos que se producen en el mismo lugar siguen siendo simultaneidad y sucesión para cualquier observador concebible. Según palabras de Paul Langevin, las líneas universales, que por definición están constituidas por una sucesión de sucesos isotópicos, son *irreversibles* en todos los sistemas de referencia. La irreversibilidad de las líneas universales es así absoluta en el significado pleno de la palabra [16].

b) Lo que vino a ser plenamente relativo en la física moderna es la simultaneidad de sucesos *distantes*, o sea, heterotópi-

---

[16] P. Langevin, "Le temps, l'espace et la causalité dans la physique moderne", *Bulletin de la Société française de philosophie*, Séance du 19 octobre 1911, p. 37.

cos. Tales sucesos tienen simultaneidad en un «sistema coincidente», o sea, en los sistemas de inercia que se hallan en reposo unos respecto de otros [17]; en todos los otros sistemas la misma pareja de sucesos *no* son simultáneos. En otras palabras, a excepción de los sistemas coincidentes, los diferentes observadores estarán en desacuerdo sobre lo que es «el espacio en un instante dado»; *no* coincidirán sus cortes transversales tridimensionales simultáneos del proceso de cuatro dimensiones. Esta declaración es simplemente equivalente a la afirmación anteriormente mencionada de que no hay espacio absoluto que sirva como substrato objetivo para los sucesos «verdaderamente simultáneos». Así la relatividad de la simultaneidad se puede llamar igualmente *relatividad de yuxtaposición.*

c), d) En contra de una extendida creencia, la sucesión de sucesos distantes *no* se hace relativa. Sólo el orden de sucesos que no tienen *relación causal,* o sea, cuya distancia en el espacio es mayor que su intervalo de tiempo multiplicado por la velocidad de la acción causal más rápida, pueden aparecer revertidos en un adecuado marco de referencia; la sucesión de sucesos causalmente *relacionados* sigue siendo topológicamente invariante, o sea, retiene su carácter de sucesión para todos los posibles observadores.

La interpretación errónea sobre este punto era debida a la confusión de *variancia métrica* con *invariancia topológica.* Es cierto que en la relatividad, en contraposición a la física clásica, la *longitud* del intervalo temporal incluso entre dos sucesos causalmente relacionados depende de la elección del sistema de referencia. Pero no se puede convertir en cero en ningún sistema, y *a fortiori* no se puede hacer negativa [18]. La transformación de la sucesión en simultaneidad o una reversión del orden temporal pueden producirse cuando los sucesos correspondientes *no* se hallan causalmente relacionados. Pero en ningún sistema concebible puede aparecer un efecto *antes* de su causa. Tal caso, aunque posible en la física clásica, es imposible en la teoría de la relatividad en virtud de que *ninguna acción causal puede moverse con mayor rapidez que los disturbios electromagnéticos.*

Filosóficamente, el resultado más significativo es que, *mientras no hay yuxtaposición de sucesos que sea yuxtaposición para*

---

[17] La expresión utilizada por WHITEHEAD en *An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge,* 2.ª ed. (Cambridge University Press, 1925), p. 31.

[18] Que esto se deduce inmediatamente de la invarianza del "intervalo universal" de Minkowski fue ya demostrado por Langevin en 1911 *(loc. cit.,* pp. 25-26).

todos los observadores, hay ciertos tipos de sucesión que lo siguen siendo en todos los marcos de referencia. Estos tipos de sucesión son representados por series causales, o sea, las líneas universales, incluyendo las líneas universales de los fotones. En otras palabras, al contrario que la yuxtaposición espacial, la irreversibilidad de las líneas universales tiene un significado *absoluto,* poseyendo una auténtica y objetiva realidad independiente de la elección convencional del sistema de referencia.

La prioridad ontológica del tiempo sobre el espacio apenas podría tener una ilustración más convincente.

Así es más exacto hablar de *tiempo-espacio* que de *espacio-tiempo;* y si bien el término «temporalización del espacio» no es completamente exacto, no resulta tan radicalmente falso como la «espacialización del tiempo». Más tarde expondremos la razón por la que no sería enteramente exacto hablar de «temporalización del espacio». Aquí es suficiente decir que si el espacio y el tiempo se fusionan en una realidad dinámica individual, hemos de esperar que tal operación sintetizadora modifique no sólo el concepto clásico de espacio, sino también el de tiempo. Esta modificación del concepto de tiempo no es tan profunda y radical, a decir verdad, como la modificación del concepto de espacio. Esto es evidente por lo que acabamos de decir, o sea, que si bien se ha relativizado completamente la relación de yuxtaposición, el carácter sucesivo del universo —el carácter irreversible de las cadenas causales— se conserva en un sentido pleno y absoluto. Pero esto no significa que el carácter de la espacialidad sea completamente espurio o enteramente reducible a relaciones de sucesión. Por esta razón, será menos confuso hablar de *dinamización* que de *temporalización* del espacio.

La dinamización del espacio en la teoría especial.

Si el espacio es inseparable del tiempo, es ciertamente artificial y confuso tratar por separado de sus propiedades como si fuese una entidad independiente. Por otra parte, es importante observar plenamente en qué sentido y hasta qué punto todas las facetas del espacio clásico se van transformando por la evolución contemporánea de la física. Esta es la razón (o más bien la excusa) para continuar tratando por separado de las propiedades del espacio en esta sección.

El significado de un concepto nuevo y revolucionario no puede ser nunca entendido sin señalar primero *lo que no es;* de otro modo, su entendimiento se verá interferido por asociaciones desorientadoras. Esto sucede con los nuevos conceptos de espacio y tiempo, o, utilizando un lenguaje más adecuado, con el nuevo concepto tiempo-espacio. Si analizamos los cambios que la física moderna impone a las propiedades clásicas de espacio y tiempo, tal vez se crearán las condiciones para un entendimiento positivo de su transformación relativista en la unidad dinámica de tiempo-espacio. Para ésta última obtención vale la pena correr ese cierto riesgo que entraña un estudio provisional por separado de los atributos del espacio. Este estudio por separado se ve impuesto por la necesidad de una discusión clara y ordenada; no es una concesión a los antiguos modos de pensamiento, aunque superficialmente puede parecerlo. Por el contrario, al revisar las propiedades clásicas del espacio newtoniano a la luz de los descubrimientos modernos, podremos percibir mejor la imposibilidad de que el espacio exista independientemente del tiempo; tendremos razones adicionales para designar la unión de espacio y tiempo por medio del término *dinamización del espacio* propuesto anteriormente.

El espacio clásico de Euclides y Newton era una entidad inmutable y estática, enteramente extraña al transcurso temporal; la única relación que pueden tener los puntos en tal espacio es la relación de *yuxtaposición,* que es intemporal *ex definitione,* a menos que consideremos que la *yuxtaposición simultánea* es también una relación temporal. En cualquier caso, los conceptos de distancia y sucesión eran definidos como mutuamente exclusivos; cualquier distancia entre dos puntos en el espacio era, por su propia naturaleza, *instantánea,* o sea, intemporal. La inmutabilidad del espacio fue explícitamente acentuada por la famosa definición de Newton. Un siglo más tarde el autor de *Crítica de la razón pura* expresó la misma idea de una forma diferente cuando insistió sobre la exclusividad mutua de las relaciones espaciales y temporales, y en fecha tan reciente como la de principios del presente siglo, Bertrand Russell afirmó que la independencia del espacio respecto del tiempo no se puede negar «sin incurrir en los más grandes absurdos» [10].

Ahora la teoría de la relatividad recusa con atrevimiento esta

---

[10] Compárese cap. III, nota 23.

creencia abrigada durante tantos años: lo mismo que el espacio clásico no es nada más que la totalidad de los sucesos simultáneos, su existencia objetiva desaparece necesariamente tan pronto como se pierde la existencia objetiva de la simultaneidad absoluta. Simplemente *no existe* el espacio clásico concebido como yuxtaposición simultánea de puntos; admitir lo contrario significaría admitir la simultaneidad absoluta de los sucesos distantes, que es precisamente lo que niega la teoría especial de la relatividad. Como ya hemos manifestado, el espacio absoluto y la simultaneidad absoluta se implican mutuamente; la negación de uno implica la negación del otro. El espacio estático newtoniano no es nada más que un corte transversal instantáneo artificial de la transformación cósmica. Tales cortes, a pesar de su artificialidad, tienen su validez *aproximada* y justificación *práctica* para pequeñas distancias y velocidades —pequeñas en comparación con la velocidad de la luz—, pero no tienen ninguna réplica objetiva en la estructura de la realidad. Desde el advenimiento de la relatividad, según Whitehead, «las relaciones espaciales deben extenderse a través del tiempo»; pues ya no hay relaciones intemporales instantáneas en el universo.

En la parte I vimos cómo casi todas las facetas clásicas del espacio se hallaban relacionadas con su homogeneidad y cómo esta homogeneidad implica la independencia del espacio respecto de cualquier contenido físico y sus cambios. No se admitía ninguna acción recíproca causal entre el espacio clásico y su contenido físico: el espacio era considerado como *causalmente inerte* y como *indiferente a cualquier acción física;* su única función era la de recipiente inmutable pasivo. Esta separación entre el espacio y su contenido físico es recusada no sólo por la teoría general de la relatividad, sino incluso, aunque tal vez menos explícitamente, por la teoría especial. El capítulo IV indicó la tendencia de la física clásica a eliminar el concepto autocontradictorio de acción física instantánea y demostró cuán gradualmente todos los tipos de acción a distancia fueron excluidos del modelo del mundo físico. Pero aunque cedía continuamente la creencia de que podían producirse velocidades infinitas, no se impuso *ningún límite máximo* a ninguna velocidad. La mecánica newtoniana admitía *todos* los valores posibles de velocidad, y la velocidad de las ondas electromagnéticas era solamente uno de muchos posibles valores finitos. No había nada aparentemente absurdo en el cómputo de Laplace (que hoy sabemos que era falso), según el cual

la velocidad de propagación de la gravitación era 50.000.000 de veces mayor que la velocidad de la luz; por el contrario, cualquier afirmación de que hay cierto límite máximo finito para la velocidad de las acciones físicas habría parecido no sólo una estipulación arbitraria, sino también una violación de la ley de causalidad. Pues supongamos un cuerpo que se mueve con la velocidad de la luz; supongamos que es entonces sometido a alguna influencia física aceleradora; entonces es inconcebible que tal cuerpo pudiese «ignorar» de algún modo una fuerza que actúa sobre él o, en otras palabras, que cierta acción física pudiese quedar *sin* efecto físico y que la velocidad del cuerpo *no* se incrementase. El espacio newtoniano era así indiferente a *cualquier* incremento de velocidad.

En esta conexión hay una diferencia importante entre la mecánica newtoniana y la relatividad: esta última insiste en que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es *el límite máximo* que no puede rebasar ninguna acción física. Una completa percepción de esta importante diferencia conducirá a la misma conclusión que ya hemos sacado con respecto a la dinamización del espacio, aunque nos la mostrará desde un ángulo diferente.

Antes del advenimiento de la relatividad no se había observado plenamente que incluso aquellos físicos clásicos que rechazaban la idea de acciones físicas infinitamente rápidas aceptaban inconscientemente la idea de propagación instantánea. A. d'Abro señaló la totalidad de los sucesos simultáneos en el sentido clásico, o sea, absoluto, *se halla localizada en la línea universal de un punto que se mueve con velocidad infinita* [20]. El espacio instantáneo de la física clásica puede considerarse así como una realización física de propagación instantánea. La palabra «propagación», utilizada aquí, conduce a errores; sugiere equivocadamente la noción de acción que consume tiempo, la cual se desarrolla gradualmente en etapas sucesivas, mientras que la «velocidad infinita» se halla desprovista de todo carácter sucesivo; cualquier acción «que se mueva» con tal velocidad está *simultáneamente presente en todos los puntos de su camino* y, por tanto, se encuentra fuera del tiempo. Por esta razón, el término «conexión instantánea» debe sustituir al de «propagación instantánea», porque está libre de asociaciones temporales inconscientes o semiconscien-

---

[20] A. D'ABRO, *Bergson ou Einstein?* (Paris, 1927), pp. 304-305.

tes. El espacio clásico era una red de relaciones o conexiones instantáneas; *las distancias espaciales*, separando puntos yuxtapuestos, constituía precisamente esta red instántanea de relaciones.

Por esta razón, es comprensible que la transformación de Newton y Galileo se deduzca automáticamente de las ecuaciones de Lorentz si sustituimos la velocidad de la luz *c* por un valor infinito; la transformación de Newton y Galileo es un caso límite de la transformación relativista. Los físicos se hallan bien conscientes de esta importante relación entre las dos transformaciones; se hallan generalmente bien conscientes de la importancia física de la diferencia entre la dinámica de Newton y la de Einstein; pero de lo que rara vez están conscientes, si es que lo están alguna vez, es que la negación de la noción de propagación instantánea implica la negación del concepto de espacio en su sentido clásico como yuxtaposición de puntos que existen simultáneamente.

Por tanto, no podemos sobrestimar la importancia de la siguiente conclusión de la física relativista para la filosofía de la naturaleza. *En la naturaleza no hay velocidades infinitas, o sea, acciones recíprocas físicas instantáneas con todas sus fases en coexistencia simultánea; no hay conexiones instantáneas que unan sucesos-puntos simultáneos distantes; sólo hay conexiones sucesivas, caracterizando las acciones físicas concretas*, y no hay necesidad de extender el espacio pasivo y estático debajo de las acciones recíprocas concretas mediante las cuales se agota la realidad física. Este es el significado de la manifestación de Whitehead: con el advenimiento de la relatividad, las relaciones espaciales deben extenderse a través del tiempo si continuamos utilizando el término «espacial», tan matizado de asociaciones clásicas.

Una palabra más para completar nuestra respuesta a la pregunta de cómo fue posible que lo que era en verdad una dinamización del espacio fuese erróneamente interpretado y concebido como una espacialización del tiempo. La respuesta ha sido ya dada en parte: el hábito de espacializar el tiempo es solamente un modo de la tendencia de eliminar el tiempo, la tendencia que es tan vieja como la filosofía. Fue precisamente esta tendencia la que, consciente o inconscientemente, condujo a Minkowski a utilizar la expresión «mundo de cuatro dimensiones» *(vierdimensionale Welt)* en vez de «conversión de cuatro dimensiones». Muchísimos intérpretes fueron erróneamente conducidos, como hemos visto, por la connotación estática del término «mundo»; lo

que es en verdad un proceso de desarrollo dinámico fue equivocadamente considerado como un todo completo. También se pasaba por alto que la relativización de la sucesión estaba lejos de ser absoluta y que la sucesión de sucesos causalmente relacionados sigue siendo absoluta, o sea, independiente de cualquier marco de referencia.

Pero hay también otras razones para la interpretación errónea, que no carecen de relación con la primera. El hábito de espacializar el tiempo podría haber subsistido sin ser, al menos parcialmente, aprobado por la experiencia. La transformación de relaciones de sucesión en conexiones instantáneas intemporales no empieza al nivel del pensamiento abstracto; empieza al nivel de la percepción sensorial, particularmente visual. La percepción humana es de tal naturaleza que nos descubre sólo los tipos de sucesión que manifiestan un ritmo aproximadamente idéntico al suyo propio. En otras palabras, los movimientos demasiado lentos o demasiado rápidos no son percibidos en absoluto, o —lo que solamente es un modo diferente de decir lo mismo— se transforman en inmovilidades. De aquí la observación profunda de Bergson acerca de que «*percevoir signifie immobiliser*» [21]. Así el lento movimiento de una aguja sobre la esfera de un reloj o del sol a través del cielo no es percibido, sino solamente inferido; no lo percibimos, pero sacamos la conclusión de que existe cuando vemos sus diferentes posiciones en diferentes momentos. De manera análoga, cuando los movimientos son demasiado rápidos, no son percibidos en absoluto; el movimiento de una bala voladora no es percibido en absoluto, sino solamente inferido de su efecto en un lugar distante; el movimiento rápido de un cuerpo luminoso brillante en la obscuridad es registrado por nuestra retina de lenta reacción como trayectoria luminosa inmóvil.

Si incluso los cuerpos de movimiento moderadamente rápido parecen a nuestro imperfecto órgano sensorial como simultáneamente presentes en todos los puntos de su trayectoria, ¡cuánto más inconspicuo es el carácter sucesivo de acciones tan fabulosamente rápidas como la luz y la gravitación! Su propagación es prácticamente instantánea; cuando accionamos un interruptor, la habitación se llena de luz en seguida, y el efecto parece ser simultáneo con su causa. Hoy sabemos que, hablando estrictamente, esto no es cierto; pero la humanidad tuvo que esperar

---

21 H. Bergson, *Matière et mémoire* (Paris, 1896), p. 232.

hasta el siglo XVII para saber esto. Los correspondientes intervalos de tiempo son tan pequeños en la escala humana e incluso en la planetaria que, para fines prácticos, pueden ser despreciados sin peligro alguno: afirmar que es instantánea la acción recíproca luminosa y gravitacional entre los objetos de nuestra experiencia diaria es una inexactitud permisible.

Lo que es una inexactitud despreciable desde el punto de vista práctico se convierte en un engaño fundamental o inexactitud filosófica si se considera como cierta sin limitaciones. Además, la situación es a la vez diferente cuando nos apartamos de nuestro ambiente diario hacia nuestro vecino cósmico más próximo —la luna— y su relación con nuestro planeta. Los eslabones gravitacionales y luminosos entre la tierra y su satélite ya no son instantáneos. Requieren cierto intervalo de tiempo que. aunque todavía pequeño, no puede ser desconsiderado: un segundo. A medida que se incrementa la distancia, la duración de los eslabones causales se incrementa de manera correspondiente: es ocho segundos para el sol, cuatro horas para Neptuno, unos cuatro años para la estrella más próxima, cincuenta años para la estrella polar, mil años para la gran nebulosa de Orión, un millón de años para la nebulosa de Andrómeda.

Pero nuestra razón —o más bien nuestra imaginación— retiene los hábitos que requiere su contacto perpetuo con nuestro ambiente biológico inmediato. Aun cuando se descubrió la velocidad finita de la luz y de las vibraciones electromagnéticas en general, no desapareció el hábito de postular conexiones instantáneas entre los objetos distantes; de aquí la distinción hecha entre conexiones causales sucesivas que se producen *en* el espacio y conexiones geométricas instantáneas que constituyen el *propio espacio*.

Aun cuando esta distinción fue rechazada por la teoría de la relatividad, subsiste en nuestra imaginación y se requiere un esfuerzo grande y continuamente renovado para vencer este hábito. Todavía tenemos una tendencia a duplicar los eslabones dinámicos concretos entre los sucesos físicos distantes por medio de conexiones geométricas estáticas que se extienden, por decirlo así, bajo las acciones físicas. La afirmación de tales conexiones intemporales entre los sucesos físicos era evidentemente otro aspecto de la separación del espacio respecto del tiempo en la física clásica. Eliminados el espacio absoluto y la simultaneidad absoluta, desaparece toda base para tal separación. Esto significa que los úl-



timos eslabones en la naturaleza no son de *tipo geométrico*, sino *cronogeométrico*. O expresado en una sola oración: *los procesos físicos concretos no necesitan ningún recipiente estático.*

La dinamización del espacio en la teoría general.

Esta dinamización del espacio se hace aún más evidente cuando nos desviamos de la teoría especial a la teoría general de la relatividad. Aquí no hay lugar para un análisis detallado del proceso de generalización mediante el cual Einstein llegó a su teoría de la gravitación al extender su principio de la relatividad a los movimientos acelerados; para nuestro propósito, será suficiente exponer los resultados y contrastarlos con las afirmaciones de la física clásica. La teoría general, aun reteniendo la fusión del espacio y el tiempo, elimina otra distinción clásica que tan fundamental fue en la época prerrelativista: la distinción entre espacio y materia. La distinción entre el espacio y su contenido físico fue implícitamente abolida por la teoría especial, como acabamos de ver; en las ecuaciones de Lorentz desaparece la separación tradicional de la dinámica respecto de la cinemática, y el espacio, fusionado con el tiempo, parece adquirir propiedades físicas activas que no poseía el espacio clásico, al menos en tal grado: por ejemplo, su resistencia a un ilimitado incremento de velocidad. En el capítulo XIV veremos cuán radicalmente esta particular consecuencia de las ecuaciones de Lorentz transforma el concepto tradicional de materia. En la teoría general esta revisión de la distinción clásica entre el recipiente geométrico pasivo y el contenido físico variable es mucho más explícita y evidente; pero su significado completo se hará patente con sólo que la contrastemos con los conceptos tradicionales de espacio, materia y movimiento.

El espacio clásico (véanse capítulos II y IV) era siempre *vacío*, si no *de facto*, al menos *de iure;* aun en las teorías de la fluidez, que consideraban el espacio como continuamente lleno por el éter hipotético, se conservaba plenamente la distinción entre el espacio y la materia que lo llena. La materia, ya sea ponderable o etérea, era siempre concebida como existiendo en el *espacio*, sobreañadida, por decirlo así, al receptáculo tridimensional. Lógicamente, aun si no temporalmente, el espacio era anterior a la materia. Según el esquema atomístico, que implícita-

mente se hallaba presente incluso en las teorías de la fluidez de la materia, varios trozos de espacio ocupan diferentes regiones de espacio de un modo temporal y accesorio, y el carácter temporal de la ocupación de espacio explicaba la realidad de movimiento. La homogeneidad e inmutabilidad fundamentales del espacio continuaban enteramente sin ser afectadas por la variable distribución de la materia en él; toda posición espacial seguía siendo eternamente idéntica, ya ocupada o no por la materia.

Esta distinción entre la materia y el espacio desaparece en la teoría general de la relatividad, al menos mientras sea adecuadamente interpretada, o sea, purgada de todas las asociaciones newtonianas que revolotean reminiscentemente alrededor de ciertas palabras. Ya no hay distinción entre el recipiente indiferente y pasivo y el contenido físico variable; la materia y el espacio, tan claramente separados anteriormente, se fusionan en una realidad dinámica individual: el *continuum* no euclidiano con curvatura que varía de lugar a lugar y de un momento a otro. Los fenómenos de gravitación y de movimiento acelerado en general, que eran interpretados por la física clásica como manifestaciones de *fuerzas* localizadas en el espacio, se deducen, naturalmente, de la curvatura del *continuum* no euclidiano de cuatro dimensiones. Lo mismo que un barco, moviéndose a través del océano, se mueve a lo largo de un camino curvo en virtud de la curvatura de la superficie terrestre, un cuerpo físico contenido en una curvatura local del tiempo-espacio se mueve con movimiento acelerado.

Es cierto que esta analogía está lejos de ser exacta y, si se toma literalmente, puede hacerse peligrosamente confusa, al menos por dos razones. En primer lugar, no expresa el carácter no intuitivo de la curvatura espaciotemporal; aparentemente expresa la idea equivocada de que el efecto de esta curvatura se manifiesta necesariamente en *un cambio de la forma del camino*. Desde luego, esto no es cierto, un movimiento acelerado rectilíneo es resultado de básicamente la misma curvatura espaciotemporal, como un movimiento parabólico de un proyectil o una órbita elíptica de un planeta. Esto se hace inmediatamente claro tan pronto como recordamos que las líneas universales de los cuerpos acelerados son representadas en el diagrama espaciotemporal de cuatro dimensiones por *líneas curvas*, aun si son líneas rectas sus proyecciones en las secciones transversales tridimensionales. Esto indica simplemente que el término «curvatura» es esencialmente metafórico, pues se basa en una analogía con la curvatura de las su-

perficies de dos dimensiones. Por esta razón, el término «constante espacial» es menos confuso y, por tanto, preferible al de «curvatura espacial», como reconoció Bertrand Russell en fecha tan temprana como la de 1897 [22].

Antes de considerar la segunda limitación de la ilustración de dos dimensiones es importante observar todas sus facetas positivas. Al principio la analogía entre un barco que navega y un cuerpo que se mueve parece ser correcta y muy sugestiva: en ambos casos, es la estructura geométrica del ambiente la que determina el carácter del movimiento. El efecto «represivo» de la estructura no euclidiana de tiempo-espacio es análogo al de la superficie esférica de la tierra en los cuerpos que se mueven sobre ella. Desde este punto de vista, la distinción entre movimiento de inercia «natural» y movimiento acelerado «forzado» se desvanece completamente en la dinámica de Einstein. Esta distinción vuelve a Aristóteles, pero era retenida por la física clásica de una forma modificada; a pesar de las profundas diferencias entre la física de Aristóteles y la de Newton era plenamente conservada por esta última la distinción entre movimientos «forzados» y «naturales». Según la teoría general de la relatividad, el movimiento de inercia es simplemente un *caso límite* del movimiento acelerado y el «campo de inercia» es un caso límite del campo gravitatorio. Hablando estrictamente, no se realiza nunca el caso clásico de un «cuerpo libre de todas las acciones externas»; expresado en un lenguaje relativista, la curvatura del tiempo-espacio no es cero en ninguna parte; sólo en las regiones muy distantes de los cuerpos materiales es despreciable la curvatura, al menos para fines prácticos, y los movimientos correspondientes son uniformes y rectilíneos de una manera muy aproximada.

La diferencia fundamental entre la mecánica newtoniana y la teoría generalizada de la relatividad es que, en la primera, las líneas universales de las partículas materiales son líneas rectas, ya paralelas al eje del tiempo (o sea, las partículas en reposo) o ya *inclinadas* al mismo eje (las partículas en un movimiento rectilíneo uniforme); todas las desviaciones respecto del reposo o de los movimientos uniformes rectilíneos, o sea, todas las curvaturas de las líneas universales se deben a la acción de algún material —ya sea materia o «fuerza»— presente *en el espacio,* pero *diferente* de él. En la teoría general de la relatividad *todo* movi-

---

[22] B. Russell, *An Essay on the Foundation of Geometry*, p. 17.

miento, acelerado o no, resulta naturalmente de la estructura local del tiempo-espacio. En otras palabras, la ley de la inercia es un caso especial de la ley de la gravitación, o, lo que es igual, la ley de la gravitación es una ley generalizada de la inercia. La dicotomía de movimientos naturales y forzados queda así abolida, porque *todo movimiento es natural*, o sea, se produce a lo largo de cierta línea geodésica; pero las líneas geodésicas son generalmente de forma mucho más compleja y, sólo en regiones del *continuum* espaciotemporal donde la curvatura es prácticamente cero, adquieren el carácter de líneas rectas de una manera muy aproximada. Esta visión relativista significa una interesante reversión del procedimiento clásico. No es la inercia la que explica la gravitación, como en los modelos cinéticos clásicos, donde la aceleración de los cuerpos gravitativos se debía, en definitiva, al impacto de masas inertes; por el contrario, es la gravitación la que, según la mecánica relativista, explica los fenómenos de la inercia.

Pero si la acción gravitatoria es así reducida a una deformación local del *continuum* de cuatro dimensiones, la propia materia queda reducida a la presencia de algunas peculiaridades en su ambiente espaciotemporal; pues la materia se manifiesta por su campo gravitatorio, del que no puede ser separada. Si eliminamos el campo gravitatorio, eliminamos la propia materia, y viceversa. Es cierto que la física clásica mantiene la distinción entre la propia substancia material y su acción en el espacio; o, en términos menos filosóficos y más físicos, entre la «masa de inercia» y la «masa gravitatoria». Mientras que la masa de inercia era considerada como núcleo substancial de la materia, la *vis insita* de Newton, *residiendo* en ciertas regiones del espacio, la masa gravitacional era concebida como acción producida por la masa de inercia en el espacio circundante. Ya se considerase la propagación de la gravitación como instantánea o finita, ya se explicara dinámicamente *à la* Boscovich o mecánicamente, una hipótesis era siempre idéntica: que la gravitación era algo *intrínsecamente diferente* de, aunque invariablemente asociado con, el núcleo substancial de inercia de la materia.

Pero precisamente esta distinción fue abolida por la teoría general. El principio de equivalencia de Einstein fusiona las manifestaciones de la inercia y la gravitación en una realidad individual, y la igualdad numérica de la masa de inercia y gravitación, que era una coincidencia enigmática dentro de la estructura clá-

sica, es una simple consecuencia de su identidad básica en la teoría general. Es un error decir que la materia «causa» la correspondiente curvatura en el espacio, como vagamente se sugiere a veces, pues no hay relación de causalidad entre la materia y una zona local del espacio. La relación es la de identidad: la materia y la curvatura local del espacio son *una sola e idéntica realidad*. El lenguaje de Eddington es muy explícito sobre este punto:

Sobre la teoría newtoniana no se consideraría completa ninguna explicación de la gravitación a menos que describiese el mecanismo mediante el cual un trozo de materia se adhiere al medio circundante y lo convierte en portador de la influencia gravitacional que irradia de la materia. En la presente teoría no se requiere nada correspondiente a esto. No preguntamos cómo la masa se adhiere al espacio-tiempo y causa la curvatura que postula nuestra teoría. Eso sería tan superfluo como preguntar cómo la luz se adhiere al medio electromagnético para hacerlo oscilar. La luz *es* la oscilación; la masa *es* la curvatura. No hay ningún efecto causal que se pueda atribuir a la masa; y menos todavía uno que se pueda atribuir a la materia [23]. (La cursiva es del original.)

O con palabras de Emile Borel:

Todo esto es una consecuencia del bien conocido hecho de que la masa newtoniana (o masa gravitatoria) y la masa de Galileo (masa de inercia) son rigurosamente idénticas. Por tanto, en las ecuaciones es posible sustituir la presencia y acción de la materia por las modificaciones correspondientes a los desplazamientos producidos por las fuerzas de inercia; en lenguaje matemático, esto significa que *la materia se manifiesta* sólo en las deformaciones del espacio-tiempo de cuatro dimensiones [24]. (Hemos añadido la cursiva.)

La conclusión filosófica de Meyerson de que, en la teoría relativista de la gravitación, la materia era «reabsorbida en el espacio» [25] parece estar enteramente justificada, si no olvidamos que es menos confuso hablar de la reabsorción de la materia en el tiempo-espacio más bien que en el espacio. Esta corrección necesaria hace muy discutible la idea, defendida por Meyerson y Bergson [26], de que la teoría general de la relatividad es una continuación e incluso una culminación de la tendencia cartesiana a reducir la materia al espacio. La fusión relativista de materia y

[23] Eddington, *The Nature of the Physical World*, p. 156.
[24] E. Borel, *L'Espace et le temps* (París, 1923), p. 204.
[25] *La Déduction relativiste*, p. 135.
[26] E. Meyerson, *ibid.*, p. 135; H. Bergson, *Durée et simultanéité*, p. 241.

espacio fue posible por el sacrificio de casi *todas* las facetas del espacio clásico. El espacio de la teoría general de la relatividad no sólo no es euclidiano, sino que ni siquiera tiene el carácter de homogeneidad que la teoría especial de la relatividad conservaba aparentemente. Sus diferentes regiones no son cualitativamente equivalentes, puesto que difieren por su curvatura local no euclidiana. Probablemente no es infinito, aunque todavía carece de límites. En él, al contrario que el espacio infinito de Bruno y Newton, son facetas compatibles la falta de límites y la finidad. Se halla indisolublemente unido al tiempo, no sólo a causa de la teoría especial de la relatividad, de la que es una extensión la teoría general, sino también en un sentido todavía más sorprendente: el espacio-tiempo relativista no tiene una estructura rígida, porque su curvatura varía no sólo de lugar a lugar, sino también de un momento a otro. Esta es una inevitable consecuencia del hecho de que hay un desplazamiento mutuo de cuerpos materiales, o, en el lenguaje de la teoría general, un desplazamiento mutuo de deformaciones locales del espacio-tiempo.

Además, no sólo hay un cambio continuo de curvaturas locales debido al desplazamiento mutuo de los cuerpos, sino que incluso la curvatura total del espacio-tiempo varía en el tiempo. Hay considerables testimonios astronómicos en favor de *la expansión del espacio-tiempo,* o sea, el incremento continuo del «radio de curvatura» [27].

¿Podemos imaginar una incorporación más radical del concepto de espacio en el de conversión? ¿Qué queda de la definición clásica del espacio como «yuxtaposición simultánea de puntos»? Nada más que una palabra de connotaciones confusas.

Esto puede parecer una declaración irreflexiva; pero apenas se puede evitar tal conclusión si observamos plenamente el contraste entre el *continuum* variable, dinámico, heterogéneo, no euclidiano, y el receptáculo rígido, pasivo, homogéneo, de Euclides y Newton. Este último siempre se halla implícita o semiconscientemente presente en nuestra mente cuando utilizamos el término «espacio», y un esfuerzo considerable y constantemente renovado es necesario para vencer este hábito de varios siglos de antigüedad. Incluso el dominio matemático de la teoría de la relatividad no garantiza necesariamente que el antiguo hábito sea vencido. La difundida interpretación errónea de la unión de espacio y tiem-

---

[27] A. E. Eddington, *The Expanding Universe* (Cambridge University Press, 1933).

po por muchos físicos y filósofos da muy claros indicios de esto. Esta interpretación errónea tiene varios grados, que van desde la actitud de los que interpretan la síntesis de espacio y tiempo como una especie de hiperespacio de cuatro dimensiones y que, como Jeans, ven en él una confirmación de la eliminación del tiempo de Bradley [28], a los que en su mente consciente rechazan el engaño de la espacialización sin desechar su residuo subconsciente.

Nuestro subconsciente es mucho más conservador que lo que estamos dispuestos a reconocer, y esto ocurre no sólo con nuestro subconsciente emocional, sino también con el intelectual. Por esto, los hábitos de pensamiento newtonianos y euclidianos parecerán —si no siempre, al menos durante un tiempo considerable— más naturales a la humanidad que los nuevos modos de pensamiento que requieren tanto esfuerzo y análisis vigilante. El hecho de que utilizamos la expresión «espacio-tiempo» en vez de «tiempo-espacio» puede parecer bastante inocente; pero es un síntoma significativo de nuestra tendencia inconsciente a preferir el espacio al tiempo, una tendencia que tanta confusión explica acerca de la verdadera naturaleza de la síntesis espaciotemporal.

Es igualmente significativo que muchos exponentes de la relatividad, después de hablar profusamente sobre la unión de espacio y tiempo al tratar de la teoría especial de la relatividad, parezcan olvidarse de ella cuando empiezan a estudiar la teoría general. Abundan expresiones como «*espacio* de Riemann» o «curvatura del *espacio*», y no sólo en las exposiciones populares. Sin embargo, todo el que se halla consciente de que la teoría general es una extensión de la teoría especial debe darse cuenta de que tales expresiones son esencialmente incompletas y de que la unión de espacio y tiempo es aún *más íntima* en la teoría general que en la especial. Incluso un erudito tan serio como Meyerson, a quien públicamente elogió el propio Einstein por su entendimiento de la relatividad, habla de «materia reabsorbida en el espacio» en vez de «espacio-tiempo». Esta falta de percepción aparentemente inofensiva explica muy probablemente su idea errónea de la relatividad como continuación de la tendencia cartesiana a reducir la materia al espacio.

Los párrafos precedentes tratan realmente de la segunda limitación de la analogía del barco que navega, la limitación que

---

[28] J. JEANS, *The New Background of Science* (Nueva York, Macmillan, 1933), pp. 109-110.

precisamente se debe a su carácter *estático*. La superficie marítima esférica de la tierra es una entidad completa; sus diversas posiciones geográficas existen con anterioridad al movimiento de un barco. Éste es el significado de la declaración de que un barco sucesivamente *ocupa* diferentes posiciones o que se mueve a lo largo de una ruta ya existente. De manera similar, un cuerpo que se mueve en el espacio tridimensional euclidiano de la física clásica *ocupa* sucesivamente diversas posiciones. En esta conexión, ningún espacio estático no euclidiano difiere esencialmente de su réplica euclidiana; y con esta noción en el fondo de nuestras mentes nos inclinamos a hablar de un cuerpo que se mueve *en* un espacio no euclidiano. También preexisten diversas posiciones de su ruta futura, y, por decirlo así, *esperan* ser ocupadas por un cuerpo en movimiento. La misma idea de espacio como recipiente preexistente de materia y movimiento subyace tanto en los modelos euclidianos como en los estáticos no euclidianos.

Pero el movimiento *en* el espacio sería físicamente posible con sólo que fuera posible una separación del espacio respecto del tiempo, o —lo que es igual— con sólo que fuera posible la simultaneidad en un sentido absoluto. Pues los espacios euclidianos y estáticos no euclidianos coinciden en ser clases de puntos yuxtapuestos, o sea, *simultáneamente existentes;* difieren en métrica, pero su independencia del tiempo es su faceta común, siempre que su curvatura sea constante a través del tiempo; es de importancia secundaria la cuestión de si es cero, positiva o negativa, o si es en todas partes idéntica o diferente en diferentes lugares. (Un modelo de dos dimensiones podría representar el espacio estático no euclidiano mediante la superficie de una curvatura variable, tal como una superficie elipsoide o una paraboloide, o incluso una esférica, con protuberancias locales inmóviles.)

Pero el espacio relativista *no se puede* separar del tiempo. Según la teoría especial, no hay simultaneidad absoluta, o sea, no hay yuxtaposición absoluta. Además, la constante espacial de la teoría relativista de la gravitación varía no sólo localmente, sino también con el tiempo. Es así básicamente incorrecto afirmar, como hacen algunas exposiciones populares o semipopulares, que la estructura preexistente no euclidiana del espacio *obliga* a los cuerpos a moverse del mismo modo que un sistema de canales hace que las corrientes de agua corran en ciertas direcciones. El carácter objecionable de tales interpretaciones imaginativas fue bien expuesto por Bertrand Russell, cuya excepcional habilidad

de exponer sistemáticamente la estructura conceptual clásica en sus primeras obras no le impidió ser susceptible a los recientes cambios revolucionarios de la física:

> La antigua geometría suponía un espacio estático, cosa que podía hacer porque se suponía que el espacio y el tiempo eran separables. Es natural pensar en el movimiento como si siguiera un camino en el espacio que se encuentra allí *antes y después del movimiento:* un tranvía se mueve *a lo largo de la vía preexistente.* Sin embargo, ya no es sostenible esta idea del movimiento. Un punto que se mueve es una serie de posiciones en el espacio-tiempo; un punto posterior que se mueve no puede seguir la «misma» ruta, puesto que su coordenada temporal es diferente, lo cual significa que, en otro sistema igualmente legítimo de coordenadas, sus coordenadas temporales serán también diferentes. Pensamos en un tranvía como realizando el mismo viaje a diario, porque pensamos en la tierra como si estuviese fija; pero desde el punto de vista del sol, el tranvía nunca repite su viaje previo. «No podemos meternos dos veces en el mismo río», como dice Heráclito [29]. (Hemos añadido la cursiva.)

Este pasaje se halla en sano contraste con la anterior idea de Russell acerca de que «observar la falta de importancia del tiempo es la puerta de la sabiduría»; se halla igualmente en sano contraste con la defensa que hizo de Newton en sus años jóvenes [30]. Por paradójicas que parezcan las palabras de Russell, se deducen como consecuencia lógica, una vez que se niega la distinción entre el recipiente geométrico pasivo y rígido y su contenido físico variable. Sobre esta distinción entre la materia y el espacio se basa la intemporalidad del espacio; una vez que se elimina esta distinción, no hay base para retener el concepto de recipiente estático. Así, en vez de ser reabsorbida la materia en el espacio, sería más exacto hablar de que el espacio se fusiona con su contenido físico variable y dinámico. Esto es lo que Eddington tenía en la mente cuando acentuó que, «además de la geometrización de la mecánica, ha habido una mecanización de la geometría», o cuando Reichenbach advirtió que es confuso hablar de una geometrización de la gravitación [31].

---

[29] B. Russell, *The Analysis of Matter* (Nueva York, Dover, 1954), pp. 61-62.

[30] B. Russell, *Our Knowledge of the External World*, p. 167; *The Principles of Mathematics*, pp. 492-93.

[31] A. E. Eddington, *The Nature of the Physical World*, p. 137; H. Reichenbach, *Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, p. 294: "*nicht die Gravitationslehre wird zur Geometrie, sondern die Geometrie wird zu einem Ausdruck des Gravitationsfeldes*". (Cursiva de Reichenbach.)

Sin embargo, la idea de un recipiente intemporal, en el que se halla localizada toda la materia y en el que tienen lugar todos los movimientos, pōsee raíces tan profundas en la propia estructura de la imaginación humana, que es casi imposible desecharla. Tan pronto como empezamos a reflejar en un gráfico el movimiento de cualquier cuerpo, empezamos a determinar las posiciones futuras que compondrán su camino futuro; nos olvidamos de que estas posiciones futuras, *en virtud de su propio carácter futuro,* no son nada que exista realmente; transformamos su existencia implícita y, por decirlo así, potencial, su *tendencia* a suceder, en algo *ya existente;* pero puesto que al mismo tiempo la sucesión es un hecho real percibido en la forma concreta de una sensación de «no todavía», espontáneamente adoptamos una solución de compromiso: afirmamos que, aunque existen *ahora* las *posiciones* futuras de un cuerpo en movimiento, *todavía no* están ocupadas, sin embargo. Así se hace la distinción entre el movimiento y su recipiente espacial; mientras que la sucesión se asigna al movimiento, se excluye completamente del espacio.

Esta distinción se halla implícitamente presente en un nivel mental muy bajo. incluso en el nivel sensorial de animales elevados: un animal de caza, por ejemplo, el lobo en *The Call of the Wild*, de Jack London, que cruza una península de río como ruta más corta para atrapar un conejo, *ve* realmente la posición futura no ocupada de su víctima, porque está formada de facetas físicas aparentemente invariables: por ejemplo, cierto grupo de arbustos, un recodo del río y cosas por el estilo. La percepción visual nos permite generalmente ver la meta o los blancos de nuestra actividad presente, ya sea andar o disparar. Es preciso una sofisticación como la de Whitehead para observar que una situación percibida desde cierta distancia espacial y la que efectivamente alcanzamos por medio de nuestra actividad presente son *dos sucesos distintos en el tiempo* que sólo nuestro lenguaje inadecuado, basado en la idea newtoniana de espacio sin movimiento y sin sucesos, fusiona en la identidad espuria de «una sola e idéntica situación».

Así la propia naturaleza de nuestra percepción visual conduce no sólo a una detallada anticipación de los sucesos futuros, sino incluso a la idea de posiciones preexistentes en el espacio *que esperan* estos sucesos. El éxito biológico de este proceso psicológico nos obscurece la inadecuada cualidad ontológica hacia la cual dirigía Russell la atención en el pasaje que acabamos de citar.

Lo obstinada que es esta tendencia a creer en un recipiente falto de procesos se ve probado por el hecho de que incluso ahora los físicos continúan hablando de movimientos de cuerpos *en* el espacio no euclidiano, o que el espacio tridimensional dinamizado de Riemann es puesto por algunos relativistas en un espacio plano de cuatro dimensiones que hipotéticamente lo contiene, del mismo modo que el espacio euclidiano contiene las superficies curvas.

Está claro que la transformación del concepto de espacio es muy radical. Afecta a los conceptos tradicionales tanto de materia como de movimiento. Hemos visto que incluso pierde su significado físico una faceta constitutiva de la espacialidad como la relación de yuxtaposición. Pero antes de explorar plenamente el significado *positivo* de la fusión del espacio con el tiempo, es imperativo ver las importantes modificaciones que sufrió el concepto clásico de tiempo al integrarse con el espacio de una manera relativista.

CAPITULO DUODECIMO

La modificación del concepto de tiempo

Recapitulación.

No hay necesidad de repetir lo que ya se ha dicho sobre la relativización de la simultaneidad. Hemos visto que la simultaneidad absoluta *simplemente no existe;* en la conversión espaciotemporal no hay secciones transversales que contengan todos los sucesos «verdaderamente simultáneos». Pero en contra de la difundida impresión, esta eliminación de simultaneidad absoluta afecta al concepto clásico de espacio más profundamente que al de tiempo. Como son sinónimos los términos «espacio» y «totalidad de sucesos simultáneos», la negación de uno implica la negación del otro, y viceversa. En otras palabras, el espacio estático de Euclides y Newton no existe: la negación de simultaneidad absoluta significa eliminación de yuxtaposición absoluta. Por otra parte, *la sucesión de sucesos causalmente relacionados* sigue siendo una invariante topológica al ser absoluta para *todos* los observadores; sólo se relativiza la sucesión de sucesos no relacionados causalmente, pero tal sucesión, como la simultaneidad absoluta, no tiene ningún significado operacional. Esto se deduce inmediatamente del carácter límite de la velocidad de las acciones causales.

Pero tal vez no se halle aquí fuera de lugar un análisis más detallado; puede que arroje mayor luz sobre los resultados ya obtenidos.

Cuando se descubrió la velocidad finita de la luz se hizo patente que la simultaneidad de sucesos distantes no puede ser nunca percibida, sino únicamente *inferida.* Sin embargo, la física clásica retenía el concepto de simultaneidad porque creía que la inferencia debe conducir a resultados idénticos, que observadores localizados en diferentes regiones del espacio y moviéndose con diferentes velocidades deben coincidir finalmente acerca de la

simultaneidad o no simultaneidad de los sucesos distantes. Dos sucesos son simultáneos cuando son percibidos al mismo tiempo por observadores inmóviles estacionados a la misma distancia de ambos sucesos.

Hoy es evidente que tal definición es circular. El concepto de simultaneidad absoluta, que ha de ser definido, aparece *dos veces* en la definición: primero, en la hipótesis de que un observador se halla en reposo con respecto al espacio absoluto; después, en el propio concepto de distancia. Hemos visto que el espacio es simplemente otra forma de decir *clase de sucesos absolutamente simultáneos;* de manera análoga, la palabra «distancia» designa una serie, de una sola dimensión, de puntos *coexistentes,* o sea, *que existen simultáneamente.* No es extraño que un físico clásico pudiese encontrar en sus conclusiones lo que había sido tácitamente supuesto en sus premisas. Los observadores que no están estacionados a la misma distancia de ambos sucesos ni se mueven con cierta velocidad respecto al espacio absoluto seguirán coincidiendo, según él, con el observador privilegiado acerca de la simultaneidad de sucesos distantes; aunque *percibirán* como sucesivos los sucesos que son verdaderamente simultáneos y como simultáneos los que son verdaderamente sucesivos, podrán diferenciar, sin embargo, esta falsa simultaneidad percibida de la que sea *inferida,* y que será la misma que la del observador equidistante inmóvil. Este proceso de inferencia, mediante el cual una simultaneidad espuria se diferenciaba de una objetiva, se basaba en el teorema clásico de adición de velocidades, que fue aplicado sin vacilación alguna a la velocidad de las vibraciones electromagnéticas. Pero el principio de velocidad constante de la luz elimina la base sobre la cual descansa esta inferencia.

Esto significa que la simultaneidad de sucesos distantes no sólo no se percibe nunca, sino que ni siquiera es *inferida* claramente; si persistimos en inferirla obtenemos diferentes resultados en diferentes ángulos de referencia. Como ningún ángulo de referencia tiene un carácter privilegiado en la física relativista, ninguno de los correspondientes observadores tiene derecho a afirmar que su propia simultaneidad es la única verdadera. Son igualmente válidas todas las afirmaciones divergentes de varios observadores asociados con diferentes sistemas de inercia.

No obstante, sería más correcto decir que todas estas afirmaciones divergentes son *igualmente equivocadas,* para evitar una obscuridad semántica, que, desgraciadamente, se halla presente

en muchas exposiciones de la teoría de la relatividad. Pues los relativistas continúan hablando acerca de la simultaneidad de sucesos distantes, aunque tal simultaneidad es una simple entidad conceptual, creada por la definición intrínsecamente inobservable, y, cuando computada, diferente en diferentes sistemas. Es discutible la cuestión de si el uso continuado de un término tan fantasmal y ficticio es fructuoso o incluso significativo. Parece ser un efecto de pura inercia semántica, una simple concesión hecha a nuestros tradicionales y anticuados hábitos lingüísticos.

Han existido numerosos ejemplos de inercia semántica análoga en el pasado; la historia de la ciencia abunda en ellos. Por ejemplo, cuando fueron descubiertos el oxígeno y el nitrógeno, fueron denominados «aire deflogisticado» y «aire flogisticado», respectivamente. ¡Así los descubrimientos que en verdad fueron los últimos *coups de grâce* para la teoría del flogisto se expresaron al principio en los términos de la propia teoría que minaban! [1]. No parecemos encontrarnos hoy en una posición básicamente diferente cuando continuamos hablando de la simultaneidad de sucesos distantes dentro de la estructura de la teoría de la relatividad. No es suficiente unir el adjetivo «relativo» al nombre «simultaneidad»; el propio nombre debe ser suprimido por sus connotaciones completamente desorientadoras. En lugar de la «relativización» de la simultaneidad debemos hablar de su *eliminación*. A. R. Robb fue uno de los pocos relativistas que insistieron consistentemente sobre este punto: según él, «*no hay en absoluto identidad de instantes en diferentes lugares*» [1a]. La persistencia de nuestros hábitos lingüísticos simplemente refleja la obstinación de los hábitos mentales subyacentes; todos somos inconscientemente newtonianos incluso cuando confesamos que somos relativistas, y la idea clásica de instantes universales, conteniendo sucesos espacialmente simultáneos, reside todavía en el subconsciente de incluso los físicos relativistas; aunque es verbalmente rechazada, se manifiesta, como un símbolo freudiano, en cierto conservatismo de lenguaje.



[1] Compárese E. MEYERSON, *De l'explication dans les sciences*, II, apéndice 2, pp. 386-403 ("La résistance à la théorie de Lavoisier"); S. E. TOULMIN, "Crucial Experiments: Priestley and Lavoisier", *The Journal of the History of Ideas*, vol. XVIII (1957), pp. 205-220; *The Overthrow of the Phlogiston Theory*, editado por J. B. CONANT en Historias de Casos de Ciencia Experimental de Harvard (Harvard University Press, Cambridge, 1956).

[1a] A. R. ROBB, *The Absolute Relations of Time and Space* (Cambridge University Press, 1921), p. 12.

La misma razón que hace imposible hablar cabalmente de la simultaneidad de sucesos distantes hace que sea igualmente disparatado el concepto de la sucesión de sucesos no relacionados causalmente. Tal sucesión no es nunca percibida directamente, sino únicamente inferida; pero, puesto que mediante un adecuado cambio de un sistema de referencia, puede ser convertida en simultaneidad inferida, todo lo que se ha dicho acerca de la irrealidad de ésta se aplica a aquélla *mutatis mutandis.*

Sin embargo, no sucede así con la sucesión de sucesos causalmente relacionados. Tal sucesión se puede percibir directamente sólo en los sucesos que constituyen la línea universal de un observador; es inferida en cuanto a sucesos espacialmente distantes que constituyen líneas universales distantes de las nuestras. Pero hay una diferencia importante en contraste con los casos que acabamos de mencionar. La sucesión de sucesos causalmente relacionados, al contrario que la de los sucesos no relacionados causalmente, y al contrario que la simultaneidad, es una *invariante topológica;* sigue siendo una sucesión para *todo observador concebible.* Esta fue una de las razones por las que afirmamos que la síntesis relativista de espacio y tiempo no puede caracterizarse como espacialización de tiempo: mientras que la yuxtaposición se relativiza completamente (o, mejor dicho, se elimina), la sucesión causal retiene su carácter absoluto.

El significado de la dilatación de tiempo en la teoría especial.

Incluso la relativización métrica del tiempo tiene ciertos límites que en exposiciones populares y semipopulares no se acentúan suficientemente. Es cierto que la longitud de los intervalos temporales varía según el ángulo de referencia: a mí me parecerán alargadas todas las duraciones asociadas con los sistemas que se muevan con respecto al mío: ésta es la famosa «dilatación de tiempo» expresada por la fórmula

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

donde t' es un tiempo asociado con el sistema S′ que se mueve con la velocidad v con respecto al sistema S que tiene un tiempo t.

Se deben acentuar muy fuertemente dos hechos. Primero, el hecho de que los intervalos temporales parezcan *siempre alargados* y *nunca contraídos* tiene varias consecuencias importantes. Una de ellas es que el *tiempo respectivo de un observador* representa el intervalo mínimo; dos sucesos separados por cierto intervalo de tiempo respectivo dentro de su propio sistema no pueden parecer separados por un intervalo *más corto* en ningún otro sistema; a lo sumo puede parecer que se suceden después del *mismo* intervalo si, por casualidad, son observados desde un sistema S′ *en reposo* con respecto al sistema local S.

Si el intervalo temporal no puede nunca hacerse así más corto en ningún sistema, es evidente que *nunca puede reducirse a cero*. Esto ha sido ya manifestado con distintas palabras: la sucesión de sucesos causalmente relacionados no se puede transformar nunca en simultaneidad por ningún cambio del sistema. Pero si la distancia temporal no puede nunca reducirse a cero, *a fortiori* no puede cambiar de signo; ya hemos expresado esto diciendo que el orden de los sucesos causalmente relacionados no puede parecer nunca invertido en ningún sistema de referencia.

La irreversibilidad absoluta de las líneas universales es uno de los resultados de la teoría de la relatividad mediante los cuales ciertamente no se debilitó el *status* de tiempo.

Se puede objetar que, aunque la aparente longitud de los intervalos temporales tiene un límite mínimo definido, no posee ningún límite máximo. Teóricamente, un intervalo temporal puede parecer infinitamente dilatado si la velocidad del otro observador alcanza el valor crítico de la velocidad de la luz. Pero precisamente esto no puede suceder a ningún observador, porque ningún tipo de materia puede alcanzar jamás la velocidad de las vibraciones electromagnéticas. Además, otras consideraciones basadas en la teoría cuántica, que mencionaremos más tarde, indican que no sólo es inalcanzable la velocidad crítica de la luz, sino que, muy probablemente, incluso la aproximación asintótica a este valor tiene cierto límite. Por tanto, no tiene fundamento el temor de que hay ciertos sistemas en que el vuelo del tiempo puede parecer suspendido.

Otro punto que debemos acentuar igualmente es que en la teoría especial de la relatividad la dilatación de tiempo, así como la contracción de longitudes, no tienen el cándido significado ontológico que poseían en la hipótesis original de Lorentz. Como originalmente las propusieron Lorentz y FitzGerald, las modifi-

caciones de los intervalos temporales y espaciales en los sistemas móviles de referencia eran auténticamente *reales* porque su movimiento era *real* en sentido absoluto, siendo un desplazamiento con respecto al espacio absoluto; así la dilatación de tiempo y la contracción de intervalos geométricos medían, por decirlo así, la diferencia física entre el estado de reposo absoluto y el de movimiento absoluto. Ambas modificaciones fueron consideradas como causas verdaderas, de las que fue un efecto la *aparición* de la constancia de la luz.

En la teoría especial de la relatividad sucede todo lo contrario: la constancia de la velocidad luminosa es considerada como verdadera causa física de la *aparente* dilatación de tiempo y *aparente* contracción de distancia. Esto se deduce inmediatamente de su carácter *recíproco*. Mientras que en la teoría original de Lorentz y FitzGerald los intervalos temporales se dilataban *realmente* en los sistemas móviles y permanecen sin ser afectados en los estacionarios (teniendo entonces un significado absoluto los términos «móviles» y «estacionarios»), en la teoría especial hay una perfecta *reciprocidad de apariencias*. A un observador en el sistema S la duración de los procesos físicos en el sistema S′ parece ser alargada, pero un observador en el sistema S′ afirmará lo mismo acerca del sistema S. Esta reciprocidad se hallaba conspicuamente ausente en la teoría absolutista de Lorentz por la simple razón de que entonces no había equivalencia absoluta de todos los sistemas de inercia; uno de ellos, que tenía el privilegio de ser inmóvil con respecto al espacio absoluto, tenía también el privilegio de estar asociado con el verdadero tiempo newtoniano, que transcurre con uniformidad y rapidez constante.

Con la eliminación del espacio absoluto y el movimiento absoluto desaparece cualquier razón para retener el privilegiado ángulo de referencia y, por consiguiente, se asegura la perfecta equivalencia de todos los sistemas de inercia. La reciprocidad de apariencias es una consecuencia lógica de tal equivalencia, que es la propia esencia de la teoría especial. Acerca de este punto no hay desacuerdo posible entre los que comprenden la teoría especial. Así Max Born, al responder a algunos oponentes de la teoría especial que afirmaban que la dilatación de tiempo y la contracción de longitudes, por carecer físicamente de *causa*, niegan el principio de causalidad, dice:

Así la contracción es solamente una consecuencia de nuestro modo

de considerar las cosas y no es un cambio de la realidad física. De aquí que no caiga dentro del concepto de causa y efecto[2].

De forma análoga, Jean Becquerel sacó esta conclusión:

En resumen, la contracción resulta simplemente de los diferentes modos en que dos observadores definen la simultaneidad y de que la forma de un cuerpo en movimiento sólo puede ser definida como lugar de las posiciones simultáneas de los diferentes puntos del cuerpo[3].

El mismo razonamiento se aplica a la dilatación de tiempo, como se deduce inmediatamente de las fórmulas de transformación de Lorentz. Desde este punto de vista, la dilatación de tiempo es comparable al *efecto de la perspectiva*, mediante el cual el aparente tamaño de sucesos espacialmente distantes se reduce aparentemente. Henri Bergson, en su obra crítica acerca de la teoría de la relatividad, utilizó repetidas veces esta feliz analogía para ilustrar el *aparente* carácter de la modificación de intervalos espaciales y temporales. Vale la pena citar por extenso cierto pasaje:

Como pintor, tengo que representar dos figuras: John y James; aquél junto a mí, el otro a dos o trescientos metros de donde me encuentro. Dibujaré al primero de tamaño natural y reduciré al otro al tamaño de un enano. Un colega pintor, colocado cerca de James, si también desea pintar a los dos, hará justamente lo contrario; representará muy pequeño a John y dará a James su estatura normal. Además, los dos tendremos razón. Pero admitiendo que los dos estamos en lo correcto, ¿tiene alguno el derecho de sacar la conclusión de que John y James no tienen ni estatura normal ni estatura de enano, o las dos a la vez, o la que a uno se le antoje? Es evidente que no. ...Cuando me encuentro al lado de John, midiéndole siempre que se me antoja y pintándole de tamaño natural, le doy sus dimensiones reales; cuando represento a James como enano, únicamente expreso la imposibilidad de tocarle, incluso, si me permiten decirlo, el grado de esta imposibilidad; el *grado de imposibilidad* es precisamente lo que llamamos distancia; y es la distancia la que se toma en cuenta en la perspectiva. De igual manera, dentro del sistema donde me encuentro, y al que doy inmovilidad imaginándolo como mi propio sistema de

[2] MAX BORN, *Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalische Grundlagen* (Berlín, 1921), p. 189.

[3] JEAN BECQUEREL, *Le Principe de relativité et le théorie de la gravitation* (París, 1922), p. 45. El carácter aparente de la dilatación de tiempo en la teoría especial es acentuado por J. L. SYNGE, *Relativity: The Special Theory* (Nueva York, Interscience Pusblishing Company, 1956), pp. 119-120; también por R. DUGAS, *A History of Mechanics*, traducido por J. R. Maddox (Central Book Co., Nueva York, 1955), pp. 495 y sigs.

referencia, mido directamente un tiempo que es mío y otro que es el de mi sistema. Pero por el propio acto de dar inmovilidad a mi sistema he puesto a otros en movimiento, y de diversos modos. Han adquirido velocidades diferentes. Cuanto mayores son sus velocidades, tanto más contrastan con mi propia inmovilidad. Es esta mayor o menor distancia entre los valores de su velocidad y el valor cero de mi velocidad la que expreso en mis representaciones matemáticas de los otros sistemas, asignándoles tiempos más o menos lentos, todos ellos más lentos que el mío, de la misma forma que expreso la distancia entre James y yo reduciendo la estatura de James. La pluralidad de tiempos que obtengo de este modo no excluye la unidad de tiempo real; por el contrario, la presupone. Del mismo modo, la aparente reducción de la estatura de James en diferentes lienzos que representan su cuerpo a diferentes distancias indica que el verdadero James retiene la misma estatura [4].

En este pasaje Bergson insiste realmente sobre la *igualdad de tiempos respectivos o locales*. Lo que llamamos duraciones «alargadas» o «dilatadas» no son en verdad nada más que «tiempos respectivos» observados desde diferentes ángulos de referencia. La denominada dilatación de tiempo es así *un efecto de perspectiva*, por decirlo así, aunque la perspectiva en cuestión es la *perspectiva de la velocidad* más bien que la de la distancia espacial. El «tiempo local», o sea, el intervalo de tiempo entre dos sucesos dentro de su ángulo de referencia, permanece sin ser afectado; sólo a un observador externo le parece que se alarga, o sea, a un observador que se mueve con cierta velocidad con respecto a los sucesos observados.

Es cierto que algunos físicos insisten en que la distinción entre «apariencia» y «realidad» en la teoría especial de la relatividad no es justificada y que el intervalo de tiempo mínimo o «tiempo respectivo» no es en ningún sentido más real que la pluralidad de tiempos dilatados. Esta es la idea, por ejemplo, de Max Born [5]. Pero ¿no se hallaría esto en extraña contradicción con la manifestación que de él hemos citado anteriormente, en la que insistía en que la dilatación de tiempo no es real en el sentido ontológico físico? En A. d'Abro podemos encontrar una inconsistente y vacilante actitud análoga. Por una parte, utiliza casi la misma metáfora que Bergson al caracterizar la aparente modificación de los intervalos de tiempo. Mientras que Bergson la compara con el efecto óptico de la perspectiva, D'Abro la com-

[4] Bergson, *Durée et simultaneité*, pp. 100-102.
[5] M. Born, *op. cit.*, pp. 189-90.

para con la aparente modificación de la imagen óptica en un espejo cóncavo [6]. Por otra parte, D'Abro afirma que preguntar cuál duración es real de toda la clase de duraciones percibidas desde diferentes ángulos de referencia es tan disparatado como preguntar cuál es el color real de un objeto:

> En cuanto a preguntarnos cuál de estas duraciones es real, podríamos también preguntarnos cuál es el color real de un ópalo. Desde un punto de vista, puede ser amarillo, pero es rojo si lo movemos hacia la izquierda y verde o azul si lo movemos hacia la derecha [7].

En estas vacilantes actitudes de Born y D'Abro subyace la creencia de que la distinción entre «real» y «aparente» es contraria al espíritu de la teoría de la relatividad. Pues, según ellos, si atribuimos el carácter de «realidad» al tiempo respectivo de un fenómeno, a la vez que consideramos los tiempos dilatados como aparentes o menos reales, retornamos al concepto prerrelativista del sistema privilegiado. Como ilustración de esto pongamos un ejemplo concreto: si afirmamos que el tiempo propio o «tiempo local» de la vibración atómica es su *verdadero* tiempo, ¿no elegimos *ipso facto* un sistema, o sea, el sistema que se halla en reposo con respecto al átomo, como más privilegiado que cualquier otro? ¿Y no aceptamos así torpemente uno de los postulados básicos de la dinámica prerrelativista?

Pero esta conclusión es completamente insegura. Incluso un relativista no duda de que *todo observador se halla en reposo con respecto a sí mismo* sin identificar necesariamente su propia inmovilidad respecto a sí mismo con la inmovilidad absoluta del espacio newtoniano. Esta singular relación de «estar inmóvil con respecto a sí mismo», que no es nada más que una expresión física de la ley de contradicción, fue correctamente reconocida por Bergson *como un elemento absolutista* en la teoría de la relatividad; de esto se deduce naturalmente el carácter privilegiado de la «duración propia».

También se puede demostrar esto mediante un análisis más minucioso de la afirmación de D'Abro, según la cual la pregunta de cuál duración es real resulta tan disparatada como la pregunta de cuál color de un objeto es real. ¿Qué es un color de un objeto? Nada más que cierta forma ondulatoria de radiación reflejada,

---

[6] H. Bergson, *loc. cit.*; A. D'Abro, *Bergson ou Einstein?*, p. 75.

[7] A. D'Abro, *Bergson ou Einstein?*, p. 214.

forma que, como señala correctamente D'Abro, es diferente en diferentes direcciones y cambia cuando un observador se mueve. Pero es evidente que esta forma ondulatoria que rodea al objeto es por definición *externa* al objeto en sí; no sólo reside *fuera* del objeto, sino que debe su propia existencia a factores independientes del objeto: la luz incidente, la transparencia del medio circundante y otros. Esta fue la razón por la que ya Lucrecio vio claramente que el color no puede ser parte constituyente de ningún objeto [8]. Pero no es correcto afirmar que el *status* de duración respectiva o tiempo local es aproximadamente tan subjetivo como el de las propiedades secundarias; por el contrario, pertenece a *la propia naturaleza* del proceso físico que constituye el objeto en sí. La duración propia de cualquier proceso físico debe ser considerada, por tanto, como *núcleo causal* de todas las otras duraciones «dilatadas», o, aún más concisamente, las duraciones propias *parecen* ser alargadas en otros ángulos de referencia, ajenos al suyo, por el efecto de la «perspectiva de la velocidad» [9].

Pero aunque la idea de Bergson era básicamente correcta, se veía obscurecida por otras afirmaciones que no pueden ser sostenidas mientras se acepte la teoría de la relatividad. Por ejemplo, su identificación de «aparente» e «inobservable» es completamente insegura. Afirmaba que la dilatación relativista de tiempo, así como la contracción de longitudes, es inobservable en principio y nunca se verificará empíricamente. Estas dos afirmaciones eran falsas: la dilatación de tiempo no es sólo observable, sino que ya ha sido verificada.

Bergson llegó a su conclusión errónea por el siguiente razonamiento espurio: todo observador percibe sólo su propio tiempo local, en el que no tiene lugar ningún alargamiento de duración. Por medio de las fórmulas de Lorentz, calcula que su propia duración debe parecer alargada a cualquier otro observador que se mueva con respecto a él con cierta velocidad. Pero tan pronto como el primer observador entre realmente en el sistema de cualquier otro, esta dilatación desaparecería, aunque volvería a considerar que debe tener lugar en su sistema original. Así, afirma Bergson, los efectos relativistas de la dilatación de tiempo y contracción de longitudes no se producen realmente; son únicamente

---

[8] LUCRECIO, *De rerum natura*, II, vv. 730-841.

[9] Esto fue correctamente acentuado por DE WITT PARKER, *Experience and Substance* (University of Michigan Press, 1941), p. 171.

«fantasmáticos» en el sentido de que son siempre «atribuidos» a un observador externo, nunca realmente percibidos o registrados por un observador real [10]. Según palabras de Bergson, son meras «ilusiones de óptica mental», del hecho de que un observador real se identifica mentalmente con un observador en un sistema diferente e *imagina* que experimenta sus observaciones; pero estas observaciones son simplemente imaginarias y desaparecen tan pronto como el primer observador entra en un sistema diferente.

En el razonamiento de Bergson subyace la hipótesis de que ningún observador puede experimentar otra duración que la propia duración de su propio sistema. Esto no es correcto; pues, de ser cierto, sería imperceptible todo lo que sucediese fuera de cualquier sistema. Por la misma lógica, el incremento relativista de la masa sería inverificable; pues un observador percibiría únicamente las masas que se encuentren asociadas con su propio sistema, o sea, las masas relativamente en reposo con respecto a sí mismo; estas masas permanecen constantes. Así los experimentos de Kauffmann y Guye, que fueron realizados mucho antes de que Bergson escribiese su libro acerca de la relatividad, y que confirmaron el incremento relativista de la masa, habrían sido imposibles. Además, incluso el fenómeno del magnetismo, a base de la lógica de Bergson, sería imperceptible porque el campo magnético se manifiesta únicamente a observadores que se mueven con respecto a las cargas eléctricas; para un observador asociado con la carga eléctrica en movimiento no hay campo magnético.

Pero la dilatación relativista de tiempo no sólo es verificable en principio; ya ha sido verificada. La primera verificación fue indirecta: la confirmación de la fórmula relativista para la adición de velocidades. Esta fórmula se deduce de las ecuaciones de Lorentz, que incluyen también la fórmula para la transformación de la coordenada de tiempo, de la que es una mera consecuencia la fórmula para la dilatación de tiempo. El teorema relativista para la adición de velocidades se confirmó midiendo la velocidad de la luz en agua móvil; las mediciones fueron realizadas por Fizeau mucho antes del advenimiento de la relatividad y fueron interpretadas en los términos de la teoría del éter como «arrastre parcial de éter por los cuerpos en movimiento»; pero si bien esta interpretación era posible únicamente a base de hipótesis com-

---

[10] H. Bergson, *op. cit.*, pp. 158-170.

plejas y artificiales acerca de la naturaleza del éter y su relación con la materia ponderable, los resultados experimentales se deducen llanamente como simple consecuencia matemática de la teoría especial de la relatividad [11].

Una verificación más directa de la dilatación de tiempo se ha producido de pocos años a esta parte: en 1941 se descubrió que el ritmo de desintegración de mesones medido por un observador inmóvil con respecto a la tierra es más lento que lo que se esperaba y que el ritmo de reducción de velocidad depende de la velocidad relativa de los mesones según la fórmula relativista [12].

EL SIGNIFICADO DE LA DILATACIÓN DE TIEMPO EN LA TEORÍA GENERAL.

Pero Bergson estaba equivocado en otro respecto: erróneamente creía que el alargamiento de tiempo en la *teoría general de la relatividad* tiene el mismo carácter aparente (referencial) que el de la teoría especial. Esta creencia errónea se basaba en su hipótesis de que en los campos gravitatorios, al igual que en los sistemas de inercia, hay una perfecta reciprocidad de apariencias; en otras palabras, que la dilatación no afecta a las duraciones propias de ningún sistema y que, como en la teoría especial, es un efecto de la «perspectiva de la velocidad» [13]. Sin embargo, esto era un error debido al hecho de no observar que, según la teoría general de la relatividad, el curso del tiempo en sí es alargado por la acción del campo gravitatorio o, lo que es igual, por la curvatura del espacio-tiempo.

Este efecto es empíricamente verificable, por lo menos en principio, debiéndose manifestar en un cambio rojo de las líneas espectrales en campos gravitatorios de gran intensidad. Tal cambio rojo indicaría el retardamiento de los relojes atómicos en campos gravitatorios; su indiscutible verificación es extremadamente difícil porque, si existe, se ve parcial o completamente obscurecida por el efecto Doppler que resulta del movimiento relativo de la tierra y la fuente luminosa observada, así como del movimiento

---

[11] A. D'ABRO, *op. cit.*, pp. 117-118.

[12] E. T. WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, II, p. 44.

[13] H. BERGSON, *op. cit.*, apéndice II, pp. 259-265.

de los vapores incandescentes en la atmósfera de las estrellas observadas. No obstante, el cambio rojo es suficientemente claro en el espectro del compañero de Sirio para ser considerado como afirmación segura de la teoría general [14].

Por lo que acabamos de decir, es evidente que la dilatación de tiempo en los campos de gravitación es de un tipo distinto al de la teoría especial; mientras que en esta última era simplemente una distorsión de una casi perspectiva que resultaba del movimiento relativo de dos sistemas de inercia y perfectamente recíproca en ambos sistemas, en aquéllos es una modificación real del propio tiempo respectivo. Está claro que no hay reciprocidad en la teoría general de la relatividad. Aunque un observador en un campo gravitatorio más débil, como, por ejemplo, el de la tierra, puede percibir el cambio rojo en el espectro del compañero de Sirio, no sucede a la inversa; la reciprocidad de apariencias tendría lugar únicamente si un observador y un objeto observado estuviesen localizados en campos gravitatorios de igual intensidad.

Está claro que el error de Bergson, que en este respecto fue seguido por A. O. Lovejoy [15], fue debido al hecho de aplicar el principio de completa reciprocidad de apariencias, que es válido en la teoría especial, a la teoría general también; así no reparaba en que, en esta última, los ángulos de referencia considerados *no* son equivalentes. La última manifestación puede parecer paradójica mientras no observemos que el término «teoría de la relatividad» no es adecuado en todos los respectos y, considerado en abstracto, puede hacerse definidamente desorientador.

La naturaleza del error de interpretación acerca de la dilatación de tiempo en la teoría general se puede ilustrar mejor analizando la famosa paradoja del viaje en el que se retarda el tiempo. La paradoja se dio a conocer en la forma en que fue concebida por Paul Langevin allá por 1911 bajo el nombre de *voyage au boulet* [16]. Puede resumirse brevemente como sigue. Supongamos que un observador está colocado dentro de un proyectil o una nave espacial que se mueve con cierta velocidad aproximada a la velocidad de la luz lejos de la tierra; supongamos que la velocidad

---

[14] A. E. EDDINGTON, *Stars and Atoms* (Yale University Press, 1927), pp. 48-53, 122-123; E. T. WHITTAKER, *From Euclid to Eddington*, pp. 124-125.

[15] A. O. LOVEJOY, "The Paradox of the Time-Retarding Journey", *The Philosophical Review*, vol. 40 (1931), pp. 48-68, 152-167.

[16] P. LANGEVIN, "L'Evolution de l'espace et du temps", *Revue de Méthaphysique et de Morale*, vol. XIX (1911), pp. 465-466.

es solamente 1/20.000 inferior a la velocidad de la luz; supongamos que este movimiento continúa durante un año y que en este momento se invierte la dirección del movimiento y el observador de la nave espacial comienza a regresar a la tierra. La duración total del viaje de ida y vuelta será así de dos años *para el observador que va en el proyectil.* Dentro de la estructura de la física clásica era axiomático que un observador sobre la tierra pasaría por el mismo intervalo de tiempo que un observador en una nave espacial; en otras palabras, que sería dos años más viejo que cuando el viajero espacial partió de la tierra. Según Paul Langevin, *no puede ser así;* el intervalo de dos años, vivido por un viajero, corresponderá al intervalo de *dos siglos* en la tierra y ciertamente superará el lapso de vida de cualquier persona que presenciase la partida del viajero. En otras palabras, el intervalo de tiempo del viajero espacial *será realmente dilatado* en comparación con el intervalo de tiempo de los observadores terrestres.

Langevin utilizó otra ilustración menos espectacular de la dilatación de tiempo. Si suponemos que una de dos muestras de substancias radiactivas sale de la superficie de la tierra con una velocidad no muy inferior a la velocidad de la luz, y si suponemos que después de viajar un año retorna a la muestra que quedó sobre la tierra, se descubrirá que el ritmo de desintegración radiactiva procedió mucho más lentamente en la muestra viajera que en la que permaneció sobre la tierra. El reloj radiactivo viajando por el espacio se retrasaría considerablemente con respecto al reloj terrestre. Si la velocidad de la muestra voladora con respecto a la tierra fuese la misma que en el primer ejemplo, el cronómetro radiactivo, regresando a la tierra, llevaría un retraso de ciento noventa y ocho años con respecto a la desintegración de su réplica terrestre.

El *Gedankenexperiment* (experimento mental) de Langevin fue criticado por Bergson y Lovejoy bajo alegatos de que es incompatible con la teoría especial de la relatividad. Pues la idea básica de la teoría especial es la de la equivalencia dinámica y óptica de todos los sistemas de inercia; de esto se deduce la completa reciprocidad de apariencias: contracción de longitudes, dilatación de intervalos de tiempo, incremento de masas. Expongamos esto una vez más. Todos los efectos son indudablemente *observables*, pero observables sólo para un observador externo. Son productos de la *perspectiva de la velocidad*, sin ser modificacio-

nes reales dentro de los sistemas en sí. Está claro que dentro de cada sistema de inercia la masa en reposo sigue siendo por definición constante, porque ningún observador puede moverse con respecto a sí mismo; por la misma razón, dentro de cada sistema los tiempos propios siguen siendo idénticos. Por otra parte, en el *Gedankenexperiment* de Langevin no existe tal simetría de apariencias; sólo se modifica el tiempo respectivo de un viajero en un proyectil, no el del observador terrestre; así después de su retorno el viajero descubriría que hace mucho tiempo que murió el observador terrestre, puesto que habrían transcurrido dos siglos desde el momento de su fiesta de despedida.

Ahora bien, ¿es esto compatible con el principio de la relatividad? ¿Por qué, preguntó Bergson en 1923, no debe ser a la inversa? ¿Por qué no debe ser el observador terrestre sólo dos años más viejo después del retorno del proyectil del viaje de ida y vuelta de dos siglos de duración? Es suficiente suponer que el observador viajero se halla en reposo y la tierra alejándose de él con la misma velocidad, pero en dirección opuesta. Según la teoría especial, ningún sistema es privilegiado; así esta hipótesis es perfectamente legítima. Este error que subyace en el *Gedankenexperiment* de Langevin es, según Bergson y Lovejoy, una hipótesis inconsciente de que es privilegiado el sistema del observador terrestre. Nada se halla en conflicto más agudo con la teoría especial que este geocentrismo inconsciente; significaría un inconsciente retorno a Lorentz, porque, de ser verdadera esta idea, la dilatación de tiempo sería un efecto *real*, producido por el movimiento absoluto del proyectil en el espacio. Y lo que es aún peor, sería un retorno inconsciente a Aristóteles y Ptolomeo dotando torpemente a la tierra de la propiedad de ser el ángulo privilegiado de referencia.



La objeción de Bergson es muy grave y no se puede desconsiderar con ligereza; su crítica, como señaló Lovejoy, no fue ciertamente contestada por D'Abro, cuya actitud, además de ser malhumorada y no siempre justa, estaba lejos de ser consistente, y que, como hemos visto, en ciertos pasajes defiende la propia idea de Bergson, la cual rechaza violentamente en otros pasajes [17]. Mientras continuemos sobre el terreno de la teoría especial de la

---

[17] Lovejoy, *loc. cit.*, pp. 165-167. Véase también mi artículo "La théorie bergsonienne de la matière et la physique moderne", *Revue philosophique*, 78e année (1953), especialmente pp. 41-44.

relatividad, las objeciones de Bergson y Lovejoy retienen toda su fuerza. Pero tanto Bergson como Lovejoy no repararon en un argumento que podrían haber utilizado. Toda la idea del viaje en el que se retarda el tiempo es imposible dentro de la estructura de la teoría especial, que trata únicamente de los sistemas de inercia y no de los fenómenos de aceleración. Sin embargo, en el *Gedankenexperiment* de Langevin se introduce una enorme aceleración en el preciso momento en que el proyectil viajero invierte su camino y empieza su viaje de regreso. Según el principio de equivalencia, los fenómenos de aceleración son dinámicamente equivalentes a los efectos del campo gravitatorio; en otras palabras, todo el problema de un viaje cósmico de ida y vuelta se halla dentro de la miopía de la teoría general.

Esto fue reconocido por Einstein allá por 1918 y sólo unos cuantos años más tarde por Thirring, Becquerel y Whitehead, y finalmente por Reichenbach [18]. Si nos percatamos de que una poderosa aceleración que resulta al invertirse la velocidad del proyectil es equivalente a la acción de un campo gravitatorio de considerable intensidad y si tenemos en cuenta que los campos gravitatorios producen efectivamente una dilatación de tiempo, entonces la reciprocidad de los dos sistemas, del observador terrestre y del viajero cósmico, desaparece y la crítica de Bergson y Lovejoy no está ya justificada. Así podemos sacar la conclusión de que, aunque Bergson y Lovejoy estaban enteramente en lo correcto al señalar que la idea de un viaje en el que se retarda el tiempo es incompatible con el principio especial de la relatividad, no repararon en su significación dentro de la teoría general, en la que desaparece la reciprocidad de dos sistemas. Entonces la dilatación de tiempo, en vez de ser una distorsión de perspectiva, como lo es en la teoría especial, adquiere el carácter de una auténtica modificación del propio tiempo respectivo en *un* sistema solo, o sea, sin su réplica simétrica en otro sistema.

Lo que era válido e inválido en la crítica de Bergson y Lovejoy fue claramente expuesto por Whitehead en el *symposium* sobre el problema de la simultaneidad en 1923:

---

[18] A. Einstein, "Dialog über Einwände gegen die Relativitätstheorie", *Naturwissenschaften*, vol. VI (1918), pp. 697-702; H. Thirring, *Naturwissenschaften*, vol. IX (1921), p. 209; A. N. Whitehead, "The Problem of Simultaneity", en *Aristotelian Society*, suppl. vol. III (1923), pp. 34-41; H. Reichenbach, *Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, pp. 222-225; J. Becquerel, *Le Principe de relativité et la théorie de la gravitation* (París, 1922), p. 240.

Por consiguiente, el viajero del meteorito, que de la tierra va a la estrella y regresa, está «siempre en el centro del universo, coordinándolo desde una posición invariable»; también el cronólogo sobre la tierra está «siempre en el centro del universo, coordinándolo desde una posición que no ha sufrido cambio alguno». ¿Por qué debe calcular el cronólogo doscientos años para los dos años del viajero? ¿Por qué no debe ser a la inversa? Aparentemente, no es asunto de probabilidad; pues estamos seguros de que es el hombre que viaja a la estrella el que calculará lentamente. Sin embargo, el viajero tiene igual derecho a decir que la tierra comenzó súbitamente con gran velocidad un viaje por el espacio, y súbitamente se detuvo y regresó, *y que, por curioso que parezca, lo mismo que la tierra se detuvo en su distancia más lejana, una estrella se acercó a él y luego se retiró*[10]. (Hemos añadido la cursiva.)

Es así evidente que los críticos del *Gedankenexperiment* de Langevin no repararon en un importante hecho: que en vez de *dos cuerpos*, la tierra y el proyectil, tenemos aquí una situación más compleja de *dos sistemas:* uno es el proyectil en sí moviéndose relativamente con respecto al segundo sistema, que es la tierra *y las grandes masas estelares del universo.* Sólo si la tierra y el proyectil fuesen los dos únicos cuerpos del universo se restauraría la reciprocidad de efectos. Es cierto que incluso en este caso habría una asimetría de efectos dinámicos en el momento en que el proyectil invierte su velocidad y comienza su regreso a la tierra; los efectos producidos por el campo gravitatorio de la tierra serían naturalmente considerablemente más pequeños que los producidos por el campo gravitatorio de las estrellas «fijas»; pero, sin embargo, serían incomparablemente mayores que los producidos por el efecto gravitatorio del proyectil en sí. De esta manera, la verdadera reciprocidad se restauraría sólo si la tierra y el proyectil, además de ser los únicos cuerpos del universo, fuesen al mismo tiempo de tamaño aproximadamente igual. En otras circunstancias, las apariencias *no* son recíprocas y tiene lugar el retardamiento auténtico del tiempo respectivo de un sistema con respecto al otro.

En qué sentido el tiempo sigue siendo universal.

Pero aunque Bergson estaba equivocado sobre algunos detalles importantes de interpretación (que, justo es decirlo, no estaban claros ni siquiera para algunos físicos profesionales y para

[10] A. N. Whitehead, *loc. cit.*, pp. 34-35.

algunos de sus oponentes), su afirmación de que la teoría de la relatividad no sólo elimina, sino que substancia la realidad del tiempo universal, sigue siendo esencialmente correcta. Por paradójico que parezca, esto quedará demostrado convincentemente por un detenido y riguroso análisis de la paradoja del viaje en que se retarda el tiempo.

Pero primero es necesario desembarazarnos de la confusión semántica que surge del empleo de términos inadecuados y desorientadores. Precisamente tales términos son «retardación de tiempo» y «alargamiento de tiempo». Estos dos términos se hallan matizados de asociaciones visuales y geométricas. Hablamos de retardación de un cuerpo cuando se mueve con una velocidad más pequeña y es «adelantado» por un cuerpo de movimiento más rápido. De forma análoga, cuando un intervalo geométrico se alarga con respecto a otro, entonces sus extremidades no coinciden; uno estará «más adelantado» que el otro. En el experimento mental de Langevin no sucede nada semejante. Por definición, ambos observadores no sólo viven el mismo momento de tiempo en el instante de su separación, sino que se encuentran en *el mismo momento de tiempo* después de volver a unirse; de otro modo, sería disparatado hablar de su reunión o encuentro. ¿Qué significa esto, si no es que los dos intervalos de tiempo, el del viajero y el del observador terrestre, *siendo evidentemente limitados por los mismos momentos sucesivos, son necesariamente contemporáneos?* En otras palabras, los intervalos expresan dos aspectos complementarios de *un solo e idéntico lapso de duración universal* que subyace en los dos, aunque es medido diferentemente en cada uno de ellos. Es evidente que el lapso de duración que separa los dos sucesos y es común a los dos sistemas *no* se ve afectado ni por el movimiento relativo de los sistemas ni por los efectos dinámicos de aceleración. Lo que se ve afectado son *las unidades de tiempo,* cuya dilatación por el efecto de la gravitación explica el diferente cálculo de tiempo hecho por los dos sistemas. Pero sigue sin ser afectada la relación topológica de sucesión entre los dos sucesos, o sea, entre el momento de la separación y el momento de la reunión; pues ambos sucesos se hallan en las líneas universales que, como ya sabemos, son *irreversibles* sea cual fuere el ángulo de referencia que se elija.

Esta constancia topológica de la sucesión causal condujo indudablemente a Whitehead a diferenciar entre el universal «ade-

lanto creador de la naturaleza» y las series temporales discordantes que son sus varias manifestaciones complementarias:

La dificultad con respecto a los sistemas temporales discordantes se ve en parte resuelta distinguiendo entre lo que llamamos adelanto creador de la naturaleza, que de ningún modo es propiamente serial, y otras series de tiempo. Habitualmente confundimos este adelanto creador, que experimentamos como transición perpetua de la naturaleza en novedad, con la serie individual de tiempo que naturalmente empleamos para la medición. Cada una de las varias series temporales mide algún aspecto del adelanto creador, y todas ellas en conjunto expresan todas las propiedades de este adelanto que son posibles de medir [20].

Dos filósofos, que en otros respectos coincidían muy poco, se encontraron de acuerdo con Whitehead sobre este punto. Seis años antes de que Whitehead escribiese el pasaje que acabamos de citar, Bertrand Russell escribió:

Pero el principio de la relatividad ha dado prominencia al concepto de «tiempo local», y disminuyó algo la confianza de los hombres en la corriente de tiempo de fluidez uniforme. No obstante, sin dogmatizar con respecto al resultado final del principio de la relatividad, creo que podemos decir sin riesgo alguno que no destruye la posibilidad de correlacionar diferentes tiempos locales, y, por tanto, no tiene esas trascendentales consecuencias filosóficas que suponemos a veces. En realidad, a pesar de las dificultades con respecto a la medición, creo que el único tiempo omnímodo subyace, sin embargo, en todo lo que la física tiene que decir acerca del movimiento [21].

De forma análoga, se expresa Bergson en su *Durée et simultaneité*:

Los múltiples tiempos de la teoría de la relatividad no sólo no destruyen la unidad de tiempo real, sino que incluso la implican y la sostienen. ...Sin esta única y experimentada duración, sin este tiempo común a todos los tiempos matemáticos, ¿qué significado tendría decir que son contemporáneos, que están contenidos en el mismo intervalo? ¿Qué otra cosa podría significar tal afirmación? [22].

El único error de Bergson fue que esta unidad de tiempo inmanente a todos los ángulos de referencia («ce Temps unique,

[20] A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, p. 178.
[21] B. Russell, *Our Knowledge of the External World*, pp. 103-104.
[22] Bergson, *op. cit.*, p. 172.

intérieur à chaque système») debía ser entendida en sentido *métrico;* de aquí su defensa de la simultaneidad absoluta que es apenas compatible no sólo con el espíritu, sino incluso con la letra, de su propia filosofía [23]. Whitehead se expresaba con mayor claridad en este respecto cuando insistía en las propiedades no métricas del paso temporal universal. En este sentido, según él, el tiempo se extiende *más allá* de la naturaleza. Podemos coincidir con la última manifestación únicamente si restringimos el término «naturaleza» a entidades y relaciones cuantitativamente determinables; pero el propio Whitehead, en el último período de su pensamiento, cuando aceptó una «filosofía orgánica de la naturaleza», apenas habría aceptado una restricción similar.

Hay algunas relaciones cualitativas o topológicas que son indispensables; tal es la *relación de contemporaneidad,* sin la cual ni siquiera se puede hacer una simple afirmación de la existencia de las series temporales discordantes (como queda ilustrado mediante la paradoja del viaje en el que se retarda el tiempo). El reconocimiento de la duración cósmica universal no es precisamente nada más que un reconocimiento de que existe efectivamente tal relación de contemporaneidad entre las series temporales métricamente discordantes. No hay nada sobrenatural o irracional en esta afirmación; por el contrario, es una parte indispensable del lenguaje relativista coherente.

La sospecha de «irracionalismo» nace naturalmente de que parece haber una íntima relación entre este paso temporal universal y nuestro paso de tiempo privado, subjetivamente experimentado, incorporado en lo que William James llamaba corriente de conciencia. Así concluye Whitehead su discusión:

> En cuanto se refiere a la conciencia de los sentidos, hay un paso de la mente que se puede distinguir del paso de la naturaleza, aunque está íntimamente asociado con éste. Podemos argumentar, si queremos, que esta alianza de la mente con el paso de la naturaleza nace de la participación de ambas en algún carácter último de paso que domina todo el ser [24].

Con anterioridad a Whitehead, una idea similar fue expresada por Bergson cuando afirmó éste que la conversión cósmica universal es en su más recóndita esencia algo cualitativo, o sea, com-

---

[23] BERGSON, *op. cit.*, pp. 99, 112; ZAWIRSKI, *L'Evolution de la notion du temps* (Cracovie, 1935), pp. 305-306.

[24] WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, pp. 66, 69.

parable a la corriente de conciencia, que también desafía a todos los intentos de ordenarla serialmente en el sentido aritmético estricto [25]. Y, bajo el impacto de Bergson, James, en la última fase de su filosofía, generalizó su noción, puramente psicológica al principio, de la «corriente de pensamiento» en la «eterna transformación de novedad concreta en ser» a escala cósmica [26].

Todavía nos hallamos demasiado condicionados por la tradición de la física clásica para no sentir al principio una sacudida de desconfianza cuando oímos expresiones similares. La física clásica se caracterizaba por su intento de eliminar cualidades, además de todo lo que se hallaba matizado por la subjetividad, del esquema del universo que intentaba construir. Pero sabemos que era curiosamente inconsistente al exceptuar algunas cualidades sensoriales de tacto y vista que eran consideradas como objetivamente reales. Como hemos visto, la temporalidad, probablemente a causa de su sospechosa conexión con la corriente de nuestra experiencia privada, sólo fue de mala gana aceptada como físicamente real, y no infrecuentemente, bajo el doble impacto de Kant y Laplace, hubo una tendencia a rechazar por completo su carácter objetivo.

Por otra parte, un pensador tan serio y sereno como Helmholtz no vaciló en decir que el carácter temporal general es la *única* faceta que comparten la naturaleza transubjetiva y nuestra experiencia privada [27]; en todos los otros ejemplos hay una desemejanza radical entre nuestras sensaciones y los sucesos físicos correspondientes que las causan. Ciertamente, nadie acusaría a Helmholtz de ningún tipo de misticismo; sin embargo, su manifestación es apenas diferente de las citadas manifestaciones de James, Bergson y Whitehead. En la parte final de este libro nos ocuparemos de exponer en qué sentido el paso temporal es, utilizando la terminología clásica, una «cualidad primaria de la naturaleza», o incluso tal vez *la* cualidad primaria de la naturaleza.

La estructura del paso temporal psicológico, cuando es adecuadamente analizada, arroja mayor luz sobre algunas de las paradojas de la teoría de la relatividad. Lo que parece ser tan confuso en la paradoja del viaje en el que se retarda el tiempo es

---

[25] BERGSON, *Creative Evolution*, pp. 12-13.

[26] W. JAMES, *Some Problems of Philosophy* (Nueva York, Longmans, Green and Co., 1940), p. 149.

[27] H. HELMHOLTZ, *Handbuch der physiologieschen Optik* (Leipzig, 1867), p. 445.

precisamente el hecho de que dos intervalos temporales muy desiguales, como dos años y dos siglos, se suponen *contemporáneos*. ¿Cómo pueden ser temporalmente coextensivos dos intervalos temporales desiguales? La sensación de paradoja desaparece cuando nos percatamos de que en el paso psicológico concretamente experimentado el número de fases sucesivas no indica su duración objetiva. En otras palabras, una sola e idéntica duración puede ser experimentada por diferentes personas en diferentes ritmos. El intervalo experimentado por una persona que sueña puede ser subjetivamente muy largo, puesto que se compone de momentos más cortos del «presente especioso»; no obstante, este intervalo sigue siendo *contemporáneo* con el intervalo subjetivamente mucho más corto de una persona despierta, con el lapso normal de su «presente especioso».

Observemos la analogía con la paradoja relativista. El tiempo físico público, que es diferentemente experimentado y *contado* por dos personas diferentes en virtud de sus diferentes presentes especiosos, tiene una función análoga al intervalo de la conversión cósmica universal que es medido diferentemente por un observador terrestre y un viajero espacial. Del mismo modo que el tiempo medido por los relojes no se ve afectado por la variabilidad de las unidades de medición subjetivas, o sea, del presente especioso, el paso universal de la naturaleza sigue sin ser afectado por la variabilidad relativista de las unidades métricas. Después de despertar, un soñador se encontrará *en el mismo momento* del tiempo público que una persona que estaba despierta, de igual manera que, después de su retorno, un viajero espacial se encontrará *en el mismo momento de tiempo cósmico* que un observador terrestre. La analogía tiene sus limitaciones, pero estas limitaciones simplemente enfocarán de lleno el verdadero significado del paso universal de la naturaleza y su diferencia del tiempo newtoniano.

Primero se puede objetar que apenas podemos afirmar que las diferentes experiencias subjetivas de intervalos temporales miden operaciones realmente. Es cierto que no son mediciones en sentido preciso; por otra parte, apenas se puede negar que, por confusos e imprecisos que sean estos diversos juicios inconscientes con respecto a la longitud de los intervalos temporales, son *rudimentos* de las operaciones futuras mediante las cuales medimos el tiempo. El lapso de nuestro presente psicológico es utilizado espontánea e inconscientemente como unidad de medición *stan-*

dard del intervalo de tiempo psicológico, y la variabilidad de esta unidad explica las diferencias de experiencias temporales y las denominadas ilusiones de tiempo en sueños y estados psicológicos relacionados. En mediciones físicas de tiempo el proceso de medición es *esencialmente* idéntico, aunque tiene lugar conscientemente y de un modo refinado; la unidad de medición *standard* es deliberadamente *elegida* e identificada con la duración experimentada de cierto proceso físico, tal como la rotación de la tierra o sus múltiplos o fracciones; los diferentes «valores» de tiempo dependerán de nuestra *elección* de unidades *standard.* Es cierto que las diferencias resultantes no tienen el experimentado carácter inmediato y vivo de las ilusiones temporales en sueños; pero esto se debe a que la variabilidad del presente especioso se nos *impone* sin nuestra voluntad mediante la modificación objetiva de la proporción de nuestros procesos mentales, mientras que varias unidades *standard* de tiempo físico son *libremente elegidas* y no tienen relación con nuestra percepción de tiempo. Pero tanto la relatividad de tiempo *computado* como la relatividad de tiempo *experimentado* se deben, en definitiva, a la variabilidad de la unidad de medición, ya sea su cambio impuesto o libremente elegido.

Medido por cambios psicológicos o fisiológicos de diferentes proporciones o por movimientos físicos de diferentes velocidades, se suponía que el tiempo de la física clásica tenía que ser *uno* para asegurar el carácter *sincrónico* o *contemporáneo* de todos estos cambios y movimientos diferentes. En este punto, y sólo en este punto, la conversión cósmica universal que subyace en las series temporales discordantes relativistas es comparable al tiempo clásico que, según Newton, subyace en diversos tiempos relativos medidos por cambios físicos concretos. Como expuso Paul Weiss con soberbia claridad y concisión:

> Debemos reconocer que el tiempo es universal para explicar la copresencia temporal de seres diversos y el hecho de que las entidades de un mundo copresente entren juntas en el futuro, a pesar de la diversidad de sus proporciones de cambio[28].

Pero aquí termina la similitud entre el tiempo newtoniano y «el paso de la naturaleza» de Whitehead. Aunque ambos son absolutos, lo son en diferentes sentidos. Según Newton, el tiempo

[28] P. Weiss, *Reality* (Princeton, 1938), p. 230.

es independiente de los movimientos y cambios concretos que se producen dentro de él; por su propia naturaleza, es homogéneo y transcurre con una proporción constante, por diferentes que sean las velocidades de los movimientos particulares de los cuerpos físicos. Transcurriría con una proporción constante aún si todo el universo material desapareciese por completo; y, según Newton, transcurrió así incluso antes de la creación del mundo. Esta separación del tiempo respecto de su propio contenido es la base de su homogeneidad, como tratamos de demostrar en la primera parte. Tal separación no puede ser mantenida por más tiempo a la luz de la teoría de la relatividad. La materia se fundió con el espacio, mientras que el espacio se fusionó con el tiempo. Esto significa que tenemos que corregir la expresión de Meyerson diciendo que la materia *es reabsorbida en el tiempo-espacio* en vez de serlo en el espacio únicamente. La distinción tradicional entre tiempo y procesos físicos concretos debe ser considerada tan artificial como la distinción entre *espacio y su contenido material*. El tiempo en sí, lo mismo que el espacio, en virtud de su fusión con el contenido heterogéneo y dinámico, pierde su carácter de homogeneidad y uniformidad. La relatividad de las mediciones de tiempo y su subordinación a los diferentes ritmos de tiempo en diferentes campos gravitatorios se deducen como una consecuencia natural. No hay series temporales seriales únicas en la naturaleza; el tiempo no transcurre con proporción uniforme.

Sin embargo, a pesar de su diversidad métrica, las series temporales discordantes siguen siendo *contemporáneas* unas con otras, y esta *relación de contemporaneidad* topológica, no métrica, es así la propia esencia del tiempo-espacio relativista. En este sentido, el tiempo relativista, aunque métricamente no uniforme, sigue siendo topológicamente *uno*. La relación de «ser contemporáneo» sustituye a la relación tradicional de yuxtaposición simultánea espacial y así se convierte en una pista para el nuevo significado de tiempo y espacio en su síntesis como unidad de tiempo-espacio relativista.

CAPITULO DECIMOTERCERO

La estructura dinámica del tiempo-espacio

EL PROBLEMA DEL MUNDO CONTEMPORÁNEO Y EL NUEVO SIGNIFICADO DE LA ESPACIALIDAD.

Ya estamos llegando a la etapa de nuestra discusión en que podemos determinar más positivamente el significado de la síntesis relativista de espacio y tiempo. Ya hemos expuesto las razones por las que es erróneo considerar esta síntesis como espacialización de tiempo. También hemos tratado de justificar la afirmación de que la idea de espacio estático, extendiéndose instantáneamente a través de la historia universal de cuatro dimensiones, se ve excluida por la teoría de la relatividad. Pero también hemos hecho advertencias contra una falsa hipótesis de que la fusión del espacio y el tiempo puede caracterizarse ilimitadamente como *temporalización de espacio.* Hemos propuesto el término «dinamización» en lugar de «temporalización». Ahora tenemos que justificar esta corrección más explícitamente.

Después de habernos familiarizado con el significado de la teoría de la relatividad, y especialmente con su repulsa de la simultaneidad absoluta y el espacio instantáneo, nos enfrentamos inevitablemente con ciertas preguntas: ¿Qué ha sido realmente entonces de estas nociones intuitivas? ¿Es posible prescindir de ellas? ¿No emplea un relativista implícita o incluso explícitamente el término «distancia»? E incluso cuando afirmábamos que no hay eslabones espaciales instantáneos en el mundo, porque fueron sustituidos por los eslabones causales sucesivos dinámicos, ¿no utilizábamos también el término «distancia» al decir que la duración de los eslabones causales incrementa con la distancia?

Tal crítica es indudablemente válida, pero en un sentido diferente del que suponen los oponentes de la relatividad. Ya hemos señalado que las interacciones físicas a escala del organismo

humano son prácticamente instantáneas, y, en este respecto, resultan así indistinguibles de la red intemporal de relaciones puramente geométricas que constituyen el espacio clásico. Mas para el reino de velocidades mayores y «distancias» mayores (*sit venia verbo*) la noción intuitiva de distancia se hace totalmente inadecuada y debe ser sustituida por un concepto más minuciosamente definido; ciertamente, incluso es discutible el empleo de la palabra «distancia». Varios representantes de la denominada *teoría causal del tiempo* (A. A. Robb, R. Carnap, H. Mehlberg, H. Reichenbach, A. Markov) [1] dieron un intrépido paso cuando intentaron invertir el procedimiento habitual y, en vez de definir la acción causal en términos de espacio, definieron la distancia espacial en términos de tiempo. Como dice Carnap:

> Es erróneo decir que cuando dos cuerpos se hallan espacialmente uno cerca del otro, las interacciones físicas (*Wirkungslinien*) son de corta duración; por el contrario, tenemos que decir que cuando la interacción física entre dos cuerpos es de corta duración, su distancia es pequeña [2].

El intento de Carnap de derivar las propiedades topológicas del espacio de las del tiempo fue repetido de una manera más sistemática por Hans Reichenbach en su *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* en 1928, mientras que unos cuantos años más tarde A. Markov dio un paso más y trató de derivar incluso las propiedades métricas del tiempo de la relación fundamental de sucesión. Más recientemente, E. A. Whittaker proporcionó la interpretación causal de la distancia: «Cuando el astrónomo afirma que la distancia de la nebulosa de Andrómeda es un millón de años luz, manifiesta una relación entre el punto universal ocupado por nosotros y el punto universal ocupado por la nebulosa de Andrómeda en el instante que partió de ella la luz que llega aquí ahora» [3]. Así lo que llamamos distancia ya no es la relación

---

[1] A. A. Robb, *The Absolute Relations of Time and Space;* también *Geometry of Time and Space* (Cambridge University Press, 1936), pp. 1-25; R. Carnap, *loc. cit.* (compárese cap. X, n. 13); H. Mehlberg, "Essai sur la théorie causale du temps", *Studia philosophica* (Leopolis, 1935), pp. 120-260; H. Reichenbach, *Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, especialmente pp. 306-311; A. Markov, "Über die Ableitbarkeit der Weltmetrik aus der 'Früher als' Beziehung", *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*, vol. I, 3 (1932), p. 397.

[2] Carnap, *op. cit.*, p. 334.

[3] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity* (Londres, 1953), vol. II, p. 186.

entre «aquí-ahora» y «allí-ahora», sino entre «aquí-ahora» y «allí-entonces». Esto es lo que Whitehead tenía en cuenta cuando escribió en 1919 que «las relaciones espaciales deben extenderse a través del tiempo» [4].

La cita de Whittaker enfocará otra objeción, que es realmente otra forma de la anterior: «Pero ¿dónde está *ahora* la nebulosa de Andrómeda?». No sería justo contestar a esta pregunta diciendo que tal vez no exista ya la nebulosa; o, que si existe, ha sido profundamente modificada por un millón de años de evolución. Pues la cuestión surgirá obstrusivamente de la siguiente forma: «Sea lo que fuere el presente sucesor causal de la nebulosa de Andrómeda, bien estrella condensada o polvo cósmico, es cierto que su existencia presente no depende de su impacto causal futuro sobre el observador terrestre. Aunque su luz presente afectará a los observadores terrestres futuros —siempre que queden algunos—, de aquí a un millón de años debe estar partiendo *ahora* de la nebulosa, o de lo que haya sido de ella».

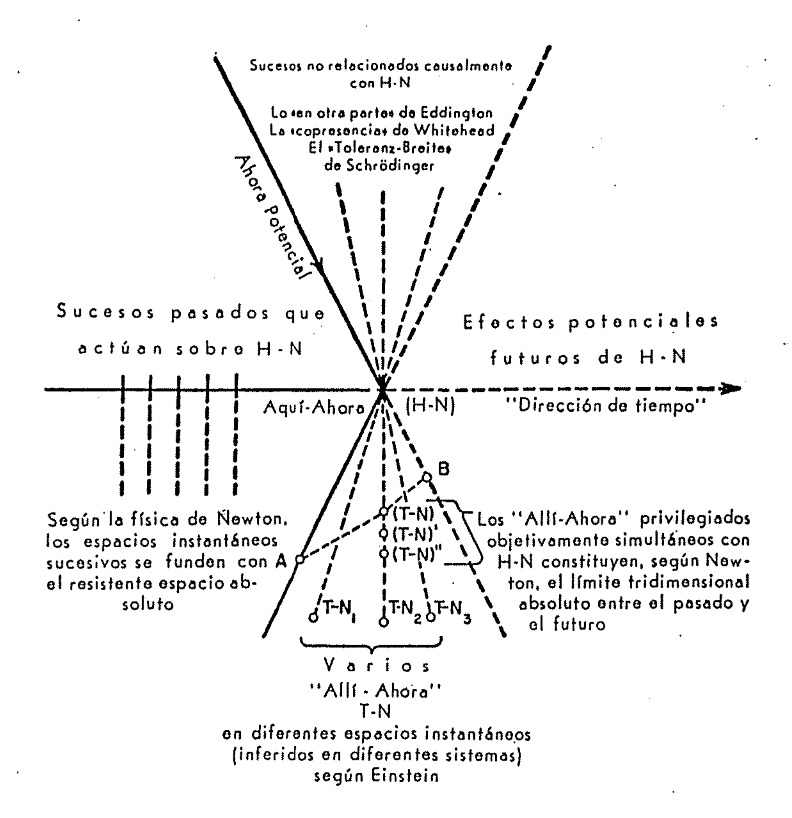
La parte válida de esta declaración es su insistencia sobre la *independencia causal* de las entidades físicas que, según la expresión convencional, se hallan separadas en el espacio; la parte errónea es precisamente la palabra «ahora». Pues esta relación de independencia no está simbolizada por una conexión geométrica instantánea que se extiende por todo el universo. Como solía decir Eddington, no hay «instantes universales»; o, según palabras de A. A. Robb, «un instante no puede estar en dos lugares a la vez» [5]. *Mi instante presente está aquí y en ninguna otra parte.* Esto no significa que se niega la existencia de «allí», o, como decía Eddington, de «en otra parte»; lo que se niega es únicamente su supuesta correlación instantánea con «aquí-ahora». «Ahora» es inseparable de «aquí»; la connotación original de la palabra «presente» es tanto espacial como temporal. La expresión latina *prae-esse* significa *próximo*, en la vecindad inmediata, o sea, *aquí*. «Allí» con respecto a «aquí» está siempre *en el pasado* o (potencialmente) *en el futuro*. Mi presente «ahora-aquí» es causalmente afectado por el «pasado-allí» y afectará causalmente al «futuro-allí».

Pero ¿qué hay entre el «pasado-allí» y el «futuro-allí»? La respuesta de la teoría de la relatividad es clara: *todos los sucesos*

---

[4] WHITEHEAD, *An Enquiry Concerning the Phinciples of Natural Knowledge*, p. 6.

[5] A. A. ROBB, *Geometry of Time and Space*, p. 15.



DIAGRAMAS DE TIEMPO-ESPACIO EN LA FISICA CLASICA Y MODERNA

La principal diferencia entre el espacio-tiempo clásico y el relativista es que en aquél era posible tener secciones tridimensionales instantáneas (espacios instantáneos) idénticas en todos los ángulos de referencia, mientras que en éste no lo es. En el espacio-tiempo relativista, la simultaneidad absoluta era sustituida por la zona en forma de cuña de los sucesos causalmente independientes de (H-N). Pero la eliminación de simultaneidad absoluta de sucesos distantes no destruye la realidad de las relaciones temporales. Aunque es imposible afirmar que (H-N) es objetivamente simultáneo con (T-N), (T-N)′ y (T-N)″, el suceso (H-N) va *precedido* por el suceso A y *seguido* por el suceso B en *todos* los ángulos de referencia. Además, la línea universal A—(H-N)—B es en *todos* los sistemas de referencia *contemporánea* con la línea universal A—(T-N)—B. Así, la simultaneidad de instantes (coinstantaneidad) ha sido sustituida por la "contemporaneidad de lapsos" o "intervalos contemporáneos".

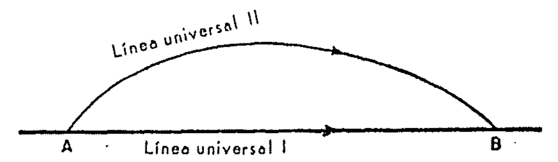
causalmente independientes de mi «aquí-ahora» y de los que mi «aquí-ahora» es independiente. Como ha dicho Paul Weiss, existe «el mundo contemporáneo»; pero «contemporáneo» no quiere decir «coinstantáneo» [6]. El mundo contemporáneo es *toda la extensión de tiempo*, una serie de sucesos; éste es el significado de la «copresencia» de Whitehead o del «en otra parte» de Eddington. A escala terrestre, el intervalo que contiene todos los sucesos independientes es tan pequeño que es prácticamente instantáneo; de aquí nuestra creencia espontánea en «allí-ahora». Pero lo que es prácticamente válido a escala planetaria deja de ser incluso aproximadamente cierto para eslabones espaciotemporales mayores.

No hay «allí-ahora»; hay solamente la relación de independencia entre «ahora-aquí» y toda la serie de «ahora» sucesivos en otra parte. La cuestión de cuál de estos «ahora» se declara como simultáneo con mi «aquí-ahora» depende del ángulo de referencia, o sea, del convencimiento en definitiva. De forma análoga, una determinación retrospectiva de la emisión de luz que de Andrómeda llega a nuestros ojos ahora resultará diferentemente para diferentes observadores. Así no se puede establecer la simultaneidad de sucesos distantes, ni siquiera retrospectivamente. Esto sólo puede tener un significado: tal simultaneidad *no existe.*

Unicamente hay dos relaciones fundamentales en el universo relativista: *conexión causal sucesiva* e *independencia causal contemporánea.* La primera relación sigue siendo absoluta al ser una invariante topológica en todos los ángulos de referencia. Lo mismo sucede con la segunda relación, la de independencia contemporánea. Dos sucesos sucesivos pueden ser unidos por más de un eslabón causal, como demostró el análisis de la paradoja de Langevin. En el diagrama que sigue, si A es un suceso en el que dos líneas universales se ramifican (tal como la salida de un viajero espacial de la tierra) y si B es el suceso en que las líneas universales se vuelven a encontrar (tal como el retorno del mismo viajero), entonces aunque las dos líneas universales I y II están asociadas métricamente con diferentes tiempos, son *contemporáneas* porque ambas están limitadas por los dos mismos su-

[6] Compárese P. WEISS, "Contemporary World", *The Review of Metaphysics*, vol. VI (1952), pp. 526-539, y mi artículo "Relativity and the Status of Space", *ibid.*, IX (1955), especialmente mi comentario sobre Weiss en las pp. 187, 195-197.

cesos sucesivos, cuyo carácter sucesivo es absoluto, o sea, independiente de cualquier ángulo de referencia.



Esto parece indicar que la relación de contemporaneidad se puede derivar finalmente de la de sucesión causal; y porque esta última relación ha sustituido a la de *yuxtaposición* mediante la cual se caracterizaba el concepto clásico, parece como si estuviese justificada la afirmación de Carnap acerca de que las propiedades topológicas del espacio son derivables de la del tiempo.

Sin embargo, un análisis más minucioso demuestra que esto no es así. Carnap tenía razón en lo que negaba; no había espacio estático objetivo separable del tiempo. Pero el carácter de la *espacialidad* o *extensión* no se puede derivar mediante ningún esfuerzo lógico del concepto de tiempo definido como serie de instantes de una sola dimensión. Había un círculo oculto en el razonamiento de Carnap cuando admitía la *multiplicidad* de las líneas universales en vez de una sola línea universal; ¿qué otra cosa es tal multiplicidad sino un rudimento de la espacialidad? Carnap la admitió virtualmente cuando postuló *dos* relaciones básicas: la de sucesión y la de *coincidencia*, definiéndose esta última como intersección de *dos* líneas universales [7]. Es cierto que la multiplicidad de las líneas universales es diferente de la multiplicidad *en* el tiempo, o sea, una pura sucesión. Es una *multiplicidad de coexistentes independientes* o de *duraciones contemporáneas*. Esta multiplicidad no se puede derivar de la suposición de una sola serie temporal; ni la relación de contemporaneidad se puede derivar de ella. Si únicamente existiese una sola serie temporal o una sola cadena causal, entonces podría ser contemporánea únicamente con sí misma; pero esto apenas sería algo más que una estéril afirmación tautológica.

Así es incorrecto, o al menos desorientador, afirmar que el espacio ha sido simple e ilimitadamente absorbido en el tiempo. Esto sería cierto únicamente si por tiempo entendemos no el concepto clásico de *continuum* de instantes de una sola dimensión

---

[7] CARNAP, *op. cit.*, p. 336.

(como veremos, insatisfactorio a la luz de la teoría de *quantum* y la mecánica ondulatoria, para no hablar de algunas objeciones epistemológicas más básicas), sino la noción de *conversión extensiva* de Bergson, que es más o menos sinónima con el adelanto creador de la naturaleza de Whitehead. Tal conversión extensiva, en contradistinción con el tiempo matemático puramente lineal, tiene cierta *extensión transversal* o *anchura;* admite las relaciones de *copresencia* (Whitehead) [8] o *simultaneidad de lapsos* (Bergson). Pero lo que naturalmente no observaba la física clásica era que de la *simultaneidad de lapsos* es imposible pasar a la *simultaneidad de instantes;* pues, como Bergson y Whitehead acentuaron repetidas veces, el tiempo no se compone de instantes sin duración ni se compone del proceso de «estados» instantáneos.

> Ahora bien, en la duración real no pasamos nunca de la simultaneidad de dos lapsos a la simultaneidad de dos instantes, *pues toda duración es gruesa; el tiempo real no tiene instantes.* Pero tan pronto como hayamos adquirido el hábito de convertir el tiempo en espacio, formamos naturalmente la idea de instante. Pero mientras que la duración no tiene instantes, una línea se halla limitada por sus extremos semejantes a puntos. Y tan pronto como hacemos que una línea corresponda con la duración, «un segmento de duración» debe corresponder con segmentos de una línea, y un «extremo de duración» debe corresponder con un extremo de una línea: tal será el instante: algo que no existe realmente, sino sólo virtualmente. *El instante es lo que terminaría la duración si la duración en sí dejara de transcurrir. Pero esto no sucede nunca* [9]. (Hemos añadido la cursiva.)

De forma análoga, las secciones transversales tridimensionales instantáneas en la conversión cósmica extensiva son pausas igualmente virtuales; son únicamente productos artificiales ilusorios del «mecanismo cinematográfico del pensamiento» [10] y no tienen auténtica realidad en el mundo de constante crecimiento. En el diagrama que presentamos anteriormente hay una tentación a dividir la zona de forma de lente mediante cortes transversales, cada uno de los cuales representaría una clase de sucesos simultáneos en un instante particular; sería ocioso insistir en que esto es imposible si la relativización de simultaneidad tiene más de un significado verbal. No debemos olvidar tampoco que el área de forma de lente es simplemente un símbolo *estático* y *de dos*

---

[8] A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, p. 177-178.
[9] H. BERGSON, *Durée et Simultaneité*, pp. 68-69.
[10] H. BERGSON, *Creative Evolution*, cap. IV.

dimensiones de una fase, de cuatro dimensiones, del proceso universal; por tanto, tenemos que ponernos una vez más en guardia contra la falacia de la espacialización, que, como acaba de decirnos Bergson, consiste en aplicar la divisibilidad matemática de entidades geométricas (líneas, superficies y volúmenes) a procesos temporales.

Ahora nos hallamos en posición de evaluar en su plenitud, y de una manera más positiva, el significado de la fusión del espacio y el tiempo, o lo que es igual, *la transformación del concepto de distancia*. No es suficiente, o al menos no es suficientemente específico, decir que el concepto de distancia espacial fue sustituido por el de distancia espaciotemporal. Lo que solíamos llamar «distancia espacial» ha de ser medida ahora, como observaron correctamente Carnap y Reichenbach, por la duración de eslabones causales correspondientes. Si el sol está más cerca de nosotros que Neptuno, lo está porque el sol se encuentra sólo a ocho minutos luz de distancia, mientras que Neptuno se encuentra a cuatro horas luz. Pero cuando yo recuerdo vivamente lo que hacía hace ocho minutos o cuatro horas, ¿no me encuentro también causalmente influido por un «suceso distante»? ¿Por qué, en este último caso, me inclino a decir que la distancia en cuestión es *puramente temporal*, o sea, que no implica distancia espacial? Evidentemente, la extensión temporal de un eslabón causal no es suficiente para caracterizar lo que la física clásica denominaba «distancia en el espacio». Hay una segunda faceta implícita que, junto con la primera, es suficiente para diferenciar entre distancia espaciotemporal y simple distancia temporal.

Esta segunda faceta es precisamente *el intervalo de independencia causal*. Es precisamente la longitud de este intervalo la que mide el *grado de indeterminación (Toleranzbreite* de Schrödinger) [11] con respecto a la simultaneidad de sucesos distantes. Este intervalo que mide la extensión de «copresencia» o de «otra parte» en dieciséis minutos para el sol, ocho horas para Neptuno, un siglo para la estrella polar, dos mil años para la gran nebulosa de Orión, dos millones de años para la nebulosa de Andrómeda. Siempre es *doble* la duración de los eslabones causales correspondientes. Para los sucesos que se producen en el mismo lu-

---

[11] E. Schrödinger, "Spezielle Relativitätstheorie und Quantenmechanik", *Sitzenberichtungen der preussischen Akademie der Wissenschaften*, Phys. Math. Klasse, XII (1931), p. 3.

gar, o en lenguaje relativista, para los sucesos de la misma línea universal, el intervalo de independencia causal es cero, puesto que cada uno de tales sucesos es naturalmente simultáneo con sí mismo; esto no es nada más que una demostración truística de la ley de identidad. Como en otros ejemplos, la idea de la física clásica es verdadera en la primera aproximación; cuando la duración de los eslabones causales es pequeña, el intervalo de independencia causal (simbolizado por la zona de cuatro dimensiones encerrada entre dos conos causales) se reduce prácticamente a un espacio sin duración instantáneo que separa el pasado del futuro; entonces podemos hablar de distancias intemporales, o sea, puramente espaciales, instantáneas, sin cometer un grave error. Pero fuera de esta área limitada de validez aproximada sólo es legítimo hablar de distancias *espaciotemporales*, nunca *espaciales*.

De forma análoga, la geometría euclidiana sigue siendo válida en la escala terrestre e incluso planetaria; las divisiones correspondientes de ella son demasiado pequeñas para ser observables o tener significado práctico. Pero esto no hace que el cambio de todo el cuadro del universo sea menos revolucionario; el hecho de que hay relaciones puramente temporales y espaciotemporales en el mundo, mientras que no existen relaciones intemporales puramente espaciales, muestra sólo otro aspecto de la prioridad ontológica del tiempo sobre el espacio. Pues las relaciones de independencia causal, ya sea legítimo o no llamarlas relaciones, son totalmente diferentes de las de yuxtaposición clásica de puntos existentes simultáneamente. La independencia causal en la relatividad no significa separación estática de entidades no menos estáticas, separación que bien puede denominarse también conexión rígida en virtud del carácter inmutable del vacío separador [12]; significa la copresencia —o más bien *cotransformación* o

[12] Puede parecer extraño que el espacio clásico, que era por su naturaleza *vacío*, o sea, *penetrable*, pudiese poseer el atributo de rigidez que se ve habitualmente asociado con la impenetrabilidad de la materia; o que el vacío que *separa* los cuerpos físicos pudiese caracterizarse como agente *conexor*. Pero no olvidemos que el vacío clásico euclidiano era un *recipiente* físico en el que los cuerpos físicos *coexisten* juntos y que este recipiente, como acentuó explícitamente Newton, es en su naturaleza rígido e invariable. Así se puede decir con igual exactitud que las distancias espaciales tanto *separan* como *conectan* los cuerpos físicos. Cada distancia permanece eternamente idéntica, ya una (o separe) dos partículas o dos posiciones desocupadas; lo que cambia es la *ocupación* de las posiciones, no las posiciones en sí. La conexión lógica entre la simultaneidad (o sea, la yuxtaposición espacial) y la rigidez fue ex-

cofluidez— de líneas universales. Es precisamente esta multiplicidad de líneas universales individuales, accionando recíprocamente en el tiempo, pero no uniéndose nunca de un modo instantáneo intemporal, la que constituye la base dinámica de la espacialidad.

El cuadro espacial de tiempo como *continuum* de una sola dimensión de instantes semejantes a puntos era inadecuado en un sentido doble por lo menos: 1) obscurece la imperfección esencial del proceso temporal, y 2) sugiere equivocadamente que el proceso, como una línea geométrica, carece de «anchura», o sea, carece de extensión transversal. Pero semejante tiempo es solamente una abstracción; *la conversión es siempre extensiva y es siempre incompleta.* «La extensión se deriva del proceso, y se adquiere por él» [13]. El espacio relativista no es ni el espacio intemporal de Newton ni la sucesión cartesiana o ruselliana de espacios instantáneos perecederos, cada uno de los cuales es milagrosamente recreado a cada momento. Es una realidad que no es sólo extraña a la duración, sino inseparable de ella; ésa es la principal razón por la que el término tiempo-espacio es preferible a espacio-tiempo.

El cuadro clásico de tiempo como *continuum* de instantes de una sola dimensión es muy probablemente inadecuado *en un tercer sentido:* sugiere la continuidad matemática (divisibilidad infinita) de tiempo. Esto conduce al problema de la aplicabilidad del concepto de divisibilidad infinita a los procesos temporales según los considera la física moderna; y en vista de la íntima conexión de tiempo y espacio es inmediatamente obvio que se suscita toda la cuestión de continuidad espaciotemporal. Discutiremos esto en las páginas siguientes.

DUDAS ACERCA DE LA CONTINUIDAD ESPACIOTEMPORAL.

El concepto de continuidad espaciotemporal seguía aparentemente sin ser afectado por la teoría de la relatividad. El espacio-tiempo relativista fue definido como *continuum*, de cuatro dimensiones, de sucesos semejantes a puntos; no había dudas acerca de la *divisibilidad infinita* de las regiones espaciotemporales. Las

---

puesta claramente por P. Langevin en el artículo ya citado, "L'evolution de l'espace et du temps", p. 460. Está claro que la teoría espacial de la relatividad hace igualmente absolutos los conceptos de cuerpo rígido y *vacío rígido*.

[13] A. N. WHITEHEAD, *An Enquiry*, p. 202.

líneas universales de Minkowski eran consideradas tan continuas como las trayectorias de la física clásica. Esto era simplemente natural: la teoría de la relatividad era por su naturaleza una *teoría macroscópica* cuyo principal objeto era la macroestructura del universo. Sus consecuencias más revolucionarias concernían a la astronomía y a la cosmología, o sea, a la estructura del universo en general; la cuestión de si el concepto de continuidad espaciotemporal es legítimo no surge en el nivel macroscópico. El carácter no euclidiano del espacio-tiempo es despreciable incluso en la escala planetaria, y su curvatura incluso se puede desconsiderar con mayor seguridad en la escala atómica.

Esta era, por lo menos, la idea básica de Riemann: la curvatura de cualquier *continuum* no euclidiano puede ser desconsiderada cuando sus regiones infinitesimales son consideradas [14]. En otras palabras, si el universo en general es riemanniano, sus partes, que son del mismo orden de magnitud que los átomos, pueden ser consideradas como euclidianas incluso más aproximadamente que «el mundo de dimensiones medias». Los volúmenes de magnitud atómica parecen ser casi perfectamente euclidianos e *ipso facto* también homogéneos y continuos; pues, como hemos visto, las dos últimas facetas estaban implícitas en la geometría euclidiana. Así, porque las desviaciones de la geometría clásica son significativas únicamente en la escala atómica, mientras que son despreciables en la escala humana e incluso más despreciables cuando volúmenes de dimensiones atómicas y subatómicas son considerados, parecía plausible considerar el espacio microscópico como poseyendo las propiedades del espacio euclidiano, incluyendo su continuidad.

Pero tenemos que ponernos en guardia contra un juicio apresurado. Es cierto que la continuidad espaciotemporal no ha sido directamente provocada por la teoría de la relatividad; es cierto que las líneas universales de Minkowski pueden ser consideradas como sucesión matemáticamente continua de instantes sin duración. Sin embargo, debemos recordar que la teoría de la relatividad negaba todo significado objetivo para el concepto de «instante universal». ¿No había en esta negativa cierto peligro implícito para el concepto de instante en general? A esto se puede responder señalando que el concepto de instante pierde su signifi-

[14] B. Riemann, "Über die Hypothesen welche der Geometrie zugrunde liegen", p. 16.

cado objetivo únicamente cuando grandes distancias cósmicas son consideradas; sigue siendo aplicable con exactitud prácticamente ilimitada a la zona de dimensiones medias, y *a fortiori* al mundo de los átomos y electrones.

Pero esta respuesta no repara en que el mundo microfísico es el mundo no sólo de distancias pequeñas, sino también de *velocidades muy grandes*, para las cuales las desviaciones de los conceptos clásicos, incluyendo el de simultaneidad absoluta, deben ser sumamente conspicuas. En realidad, en la escala microcósmica se encontraron confirmaciones espectaculares de la teoría de la relatividad: el incremento de masa con la velocidad, la equivalencia de masa y energía, la corrección relativista de Sommerfeld para las órbitas elípticas de los electrones y, finalmente, la existencia de rotación como consecuencia insospechada de la relatividad.

Así la afirmación de que la teoría de la relatividad es una teoría *exclusivamente* macroscópica, necesita ciertamente una limitación. Pero si en la escala macroscópica, así como en el nivel macroscópico, son admisibles secciones estrictamente instantáneas, o sea, sin duración, ¿qué otro significado pueden retener? Puesto que la diferencia entre un instante universal y un instante semejante a un átomo parece ser simplemente una diferencia de grado, se diría que el carácter ficticio de aquél implicaba el carácter ficticio de éste. La simultaneidad de sucesos distantes sigue siendo relativa, ya sean los sucesos separados por distancias cósmicas o dimensiones atómicas.

Contra esto se puede objetar que es todavía posible hablar de instantes cuando la distancia espacial es *cero,* como en el caso de una sola línea universal. No sólo es simultáneo con sí mismo cada suceso que constituye una línea universal (lo cual es apenas algo más que un truísmo), sino que en la teoría de la relatividad no hay nada que nos prohiba considerar una línea universal como matemáticamente continua, o sea, como constituyendo una sucesión matemáticamente continua de sucesos sin duración. En realidad, el carácter semejante a puntos de los sucesos universales es tácita o explícitamente supuesto por la mayoría de los relativistas.

Pero sin decir nada acerca de las razones epistemológicas que existen para dudar de su idoneidad, el concepto de sucesos universales con volumen cero e intervalo temporal cero es también sospechoso a la luz de otro importante aspecto de la teoría de la

relatividad que ha sido ya discutido: *la geometrización de la materia*. El desarrollo de la microfísica mostró más allá de toda duda la extremada complejidad de la materia y, en particular, su *estructura atómica*. ¿Cómo se puede reconciliar este hecho con la afirmación de que la materia es simplemente una irregularidad local del espacio no euclidiano si insistimos al mismo tiempo en que el espacio a escala atómica es aún casi más euclidiano que el espacio de las dimensiones medias?

Nos vemos ante el siguiente dilema. *O* la materia se reduce a una geometría particular del espacio (más exactamente, del espacio-tiempo) y entonces la propia existencia de los granos de la materia y la electricidad se deberían interpretar geométricamente, siendo entonces imposible sostener el carácter continuo euclidiano del espacio intraatómico; *o* aceptamos la idea de Riemann acerca del carácter euclidiano (y, por tanto, continuo) del espacio intraatómico; y *entonces* tenemos que considerar la existencia de los electrones, neutrones y otras partículas como irreducible a geometría, o sea, como algo que existe *en* el espacio, pero sin ser idéntico a él. Esta última alternativa significaría un retorno a la idea clásica de espacio como *recipiente* de material.

Una resistencia a retornar a la distinción clásica de «pleno» y «vacío» fue precisamente el principal motivo que inspiró a varias teorías del campo unificado, como las de Einstein, Weyl, Eddington, Kaluza y Schrödinger. El primer intento fue realizado por Hermann Weyl poco después de la formulación del principio general de la relatividad [15]. Se percató plenamente de que la geometrización relativista de la materia se debía extender al microcosmos. Si es verdadera la proposición de que la materia es simplemente un arrugamiento local del tiempo-espacio, entonces lo mismo debe suceder incluso con las partículas microfísicas constituyentes de la materia, o sea, los electrones; pero, según Weyl, esto es posible únicamente si abandonamos no sólo el carácter euclidiano del espacio, sino también su continuidad, que aún poseía el espacio de la teoría general de la relatividad. Inspirado posiblemente por un ensayo poco conocido de Bernard Riemann [16], Weyl considera el electrón como una especie de «hueco» o «agujero» en el *continuum* no euclidiano.

---

[15] La primera edición alemana del *Raum-Zeit Materie* de Weyl apareció en 1918.

[16] B. Riemann, "Fragmente philosophischen Inhalts", *Gesammelte Mathematische Werke* (Leipzig, 1892), p. 529. Riemann consideraba el átomo como un agujero en

Esta idea aparentemente grotesca se puede hacer más comprensible mediante un modelo de dos dimensiones, lo mismo que el concepto del espacio riemanniano finito se hace más inteligible por medio de su modelo esférico de dos dimensiones. Imaginemos cualquier superficie curva, por ejemplo, un paraboloide de rotación que contenga una pequeña apertura en su vértice. Un punto que se mueva sobre esta superficie podría moverse únicamente a lo largo de las líneas compatibles con la naturaleza de la superficie; no habría movimientos rectilíneos en el sentido euclidiano, aunque habría, sin embargo, movimientos a lo largo de las líneas geodéticas. Además, es evidente que ningún movimiento podría penetrar en la apertura del vértice del paraboloide. Es fácil generalizar esta consideración para aplicarla a un *continuum* curvo tridimensional. En este caso, la naturaleza de la curvatura, así como la de la apertura, no puede ser percibida, pero se manifestará mediante efectos cinemáticos y físicos: la curvatura no euclidiana producirá los efectos del campo gravitatorio y electromagnético, mientras que la «apertura», aun hallándose fuera del espacio, producirá el efecto de la «impenetrabilidad» del electrón. El interior de la apertura será inaccesible para cualquier punto que se mueva en tal espacio, pues penetrar «en ella» significaría dejar el espacio. Esta ilustración de dos dimensiones tiene todas las limitaciones ya enumeradas en el capítulo XI; en particular, su carácter estático obscurecerá inevitablemente la naturaleza dinámica del tiempo-espacio no euclidiano. Pero echando a un lado estas reservas, expresa gráficamente la geometrización del electrón y su campo circundante.

La ingeniosa hipótesis de Weyl es interesante también en otro aspecto: muestra cómo un intento de reabsorber la discontinuidad de las partículas subatómicas en la continuidad del medio espaciotemporal acaba finalmente en la negación de la continuidad del mismo medio. Es cierto que extendiendo el concepto de *continuum* de la manera que lo hace la teoría de las funciones podemos afirmar todavía que la continuidad espacial pertenece incluso al tipo de espacio de Weyl. Es la continuidad de un «*continuum* de múltiples conexiones» *(ein mehrfach zusammenhängendes Kontinuum)* contrastando con el «*continuum* de

---

el que continuamente penetra el éter universal. Era una teoría de "destrucción perpetua", o sea, lo contrario de la teoría de "creación continua" de Hoyle.

una simple conexión» *(einfach zusammenhängendes Kontinuum)* del espacio euclidiano clásico.

Es verdad que incluso el *continuum* de Weyl es infinitamente divisible. La existencia de las «aperturas» no impone ningún límite a su divisibilidad por la simple razón de que las «aperturas» están «fuera» del propio *continuum*. Aún se puede llamar homogéneo, porque, por definición, sus límites, que rodean las «aperturas», se ven excluidos del propio *continuum*; con palabras de Weyl, los bordes de los «agujeros» son físicamente tan inaccesibles como si estuviesen infinitamente distantes [17]. Todas las propiedades físicas de lo que hemos dado en llamar «electrón» —gravitatorias e inerciales, así como electrostáticas— son producidas por la peculiar estructura no euclidiana del *continuum* espaciotemporal *alrededor* de estas aperturas físicamente inaccesibles. Entonces no tendría significado afirmar que el espacio intraelectrónico es indivisible *porque dentro de los electrones no hay espacio en absoluto* [18].

A pesar de esta conservación formal de la continuidad apenas se puede dudar de que el concepto de *continuum*, en su nueva definición, significa una desviación radical de la continuidad visual del espacio euclidiano, en el que incluso los volúmenes subatómicos y subelectrónicos son divisibles *ad infinitum*; tal divisibilidad infinita fue una simple consecuencia de la relatividad de magnitud. En el «continuum» de Weyl, evidentemente, no es válido el primer postulado de Euclides (según el cual se puede trazar una línea recta *entre dos puntos cualesquiera)*. La osadía de la idea de Weyl contrasta significativamente con la actitud de Lotze, que insistía en la imposibilidad lógica de «agujeros en el espacio». (Sin duda, *dentro de la estructura euclidiana*, Lotze llevaba toda la razón.)

El interés por la teoría de Weyl y cualquier teoría del campo unificado en general declinó naturalmente cuando la atención de los físicos se desvió hacia dos teorías que conseguían explicar un enorme número de hechos microfísicos: la teoría cuántica y la mecánica ondulatoria. Sin embargo, el impacto de ambas teorías sobre el problema de la continuidad espaciotemporal no era esencialmente distinto al de Weyl: simplemente se vieron

---

[17] H. Weyl, *Space-Time-Matter*, p. 262; *Was ist Materie?* (Berlín, 1924), páginas 56-57.

[18] H. Weyl, *Was ist Materie?*, p. 57: "Im Innern dieser Säumer ist kein Raum mehr".

fortalecidas las dudas acerca de la idoneidad del concepto de la continuidad espacial y temporal para el microcosmos.

Al principio parecía como si la teoría clásica de la continuidad de espacio y tiempo hubiese hallado su espectacular confirmación en el modelo planetario original del átomo. Nada parecía mostrar de manera más impresionante la identidad fundamental del espacio microfísico y macroscópico que las órbitas electrónicas elípticas, regidas por las mismas leyes kleperianas que las órbitas planetarias alrededor del sol. El mundo subatómico parecía una miniatura del sistema solar; el microcosmos, aparentemente, difería del macrocosmos tan sólo por sus dimensiones espaciales. De forma análoga, los sucesos microfísicos no eran esencialmente diferentes de los sucesos a escala macroscópica; la única diferencia era de duración, y resultó interesante que se descubriera que la proporción de intervalos temporales microfísicos con los intervalos temporales del macrocosmos era la misma que la correspondiente proporción de los intervalos espaciales. Se suponía que esta proporción era $1 : 10^{22}$; ésta era la proporción del radio del electrón con el de la tierra, así como la proporción del período de una sola revolución de un electrón con el de la revolución de la tierra alrededor del sol. Hemos visto (capítulo II) que cómputos de este tipo inspiraron a Fournier d'Albe reafirmar la idea pascaliana de la cadena infinita de mundos, conteniendo cada uno otro y siendo cada uno contenido dentro de otro *ad infinitum;* esto parecía ser una consecuencia lógica de la relatividad de la magnitud, tanto espacial como temporal. Así, a pesar del giro swiftiano de la imaginación de Fournier d'Albe, parecía enteramente lógico no considerar el radio del electrón como una unidad espacial última; ciertamente, nada nos impide subdividir este minúsculo intervalo espacial en subintervalos todavía más pequeños y así *ad infinitum.*

Pero pronto se hicieron evidentes las facetas engañosas de la analogía entre sistema planetario y el modelo del átomo de Bohr-Rutherford; la similitud resultó ser totalmente superficial, si no completamente desorientadora. A su debido tiempo enumeraremos todas las limitaciones de esta supuesta analogía, pero de momento enfocaremos nuestra atención sobre una faceta del modelo de Bohr que considerablemente fortaleció las dudas acerca de la continuidad del espacio.

La faceta del modelo de Bohr que más conspicuamente carecía de réplica en la escala planetaria era la *cuantificación de*

las órbitas electrónicas. Aunque «el postulado de Bohr», tal cual era llamado, se deducía lógicamente de la teoría cuántica, era incompatible con la electrodinámica clásica, y, desde luego, se hallaba en agudo y chocante contraste con toda la idea de la homogeneidad del espacio. ¿Por qué eran «permitidas» solamente ciertas órbitas y otras «prohibidas»?

Instintiva y naturalmente pedimos una razón para tan extraña restricción. Aun cuando se demuestra que esta restricción se deduce de la cuantificación de todas las cantidades físicas que tienen la misma dimensión que la acción de Planck, la misma pregunta sigue aflorando en nuestra mente mientras se retiene el concepto tradicional de espacio homogéneo. Si el espacio es homogéneo, como requiere obstinadamente nuestra imaginación visual y euclidiana, entonces no debe contener zonas «privilegiadas» y «subprivilegiadas»; cualquier diferenciación entre regiones «permitidas» y «prohibidas» contradice el postulado de equivalencia de todos los puntos espaciales, que es en esencia el principio de la relatividad de posición. Este principio, denominado también «axioma de libre movilidad», parecía tener un carácter *a priori* para Bertrand Russell en fecha tan reciente como la de finales del pasado siglo; no obstante, se ve evidentemente violado por la restricción de Bohr, que impide a los electrones moverse libremente en el espacio fuera de las órbitas bien definidas. Es cierto que durante el proceso de absorción de radiación un electrón (hablando todavía en los términos del modelo de Bohr) «salta» de una órbita de radio menor a otra de radio mayor, mientras que durante el proceso de emisión «salta» en dirección opuesta; pero pronto se hizo evidente que es imposible una descripción espaciotemporal continua de tales «saltos»; no había modo experimental de determinar las posiciones hipotéticas de un electrón saltarín en el intervalo que separa a dos órbitas.

Esto demuestra una conexión muy íntima entre la continuidad del espacio y la del movimiento; pero la continuidad del movimiento presupone la divisibilidad infinita del tiempo. Ahora surgen naturalmente ciertas preguntas: ¿Se ven estas tres continuidades amenazadas por la teoría cuántica? ¿Hay límites, impuestos por la propia naturaleza, sobre la divisibilidad del espacio, del tiempo y del movimiento?

Es ciertamente significativo que poco después del advenimiento de la teoría cuántica la posibilidad de la estructura atómica del espacio y el tiempo empezara a ser seriamente considerada

por un número de científicos. Henri Poincaré consideró la posibilidad de la estructura atómica del tiempo poco antes de su muerte [19]. Varios años más tarde, en 1919, A. N. Whitehead, basándose principalmente en fundamentos epistemológicos, expresó dudas acerca de la existencia física de los instantes matemáticos sin duración, y un año después (1920) admitió más explícitamente la posibilidad de «*cuantos* de tiempo» [20]. El matemático francés Emile Borel suscitó una cuestión similar acerca del espacio en 1923; concedió que podría ser necesario introducir la discontinuidad en los propios fundamentos de la geometría [21]. Ideas análogas fueron expresadas por J. J. Thomson, J. Palacios, Robert Lévi, G. J. Pokrowski, H. Latzin, G. Beck, L. Schames, D. Ivanenko, V. Ambarzumian, F. March y, por último, W. Heisenberg en 1943 [22].

En el período entre las dos guerras mundiales se inventaron los nuevos nombres «cronón» y «hodón» para designar los átomos de tiempo y espacio respectivamente. El valor computado para el cronón era naturalmente muy pequeño. Según J. J. Thomson, es del orden de 10^{-21} segundo, mientras que, según R. Lévi, es $4{,}48 \times 10^{-24}$ segundo. La magnitud computada del hodón es del mismo orden que el radio del electrón clásico: 10^{-13} cm.

Para todos los fines prácticos, y considerados macroscópicamente, el espacio y el tiempo son continuos: la duración de los cronones es tan insignificante que bien se pueden igualar con los instantes sin duración; de forma análoga, la diferencia entre los puntos matemáticos y las regiones espaciales del radio de 10^{-13} cm.

---

[19] H. Poincaré, *Dernières pensées* (París, 1913), p. 188.

[20] Whitehead, *The Concept of Nature*, p. 162.

[21] E. Borel, *L'espace et le temps* (París, 1923), pp. 124-127.

[22] J. J. Thomson, "The Intermittence of Electric Force", *Proc. Royal Soc. Edinburg*, vol. 46 (1925-1926), p. 90; J. Palacios, "La Nature des Rayons X", *Scientia*, vol. 38 (1925); R. Lévi, "La théorie de l'action universelle et discontinue", *Journal de Physique et de Radium*, vol. VIII (1927), pp. 182 y siguiente; G. J. Pokrowski, "Zur Frage nach oberen Grenzen für die Energiedichte", *Zeitschrift für Physik*, vol. 51 (1928), pp. 730 y siguiente; "Zur Frage nach der Struktur der Zeit", *ibid.*, p. 737; H. Latzin, "Quantentheorie und die Realität", *Naturwissenschaften*, vol. 15 (1927), p. 161; G. Beck, "Die zeitliche Quantelung der Bewegung", *Zeitschrift für Physik*, vol. 53 (1929), pp. 675 y siguiente; L. Schames, "Die atomistiche Auffassung von Raum und Zeit", *Zeitschrift für Physik*, vol. 81 (1933), p. 270; V. Ambarzumian-D. Ivanenko, "Zur Frage nach Vermeidung der unednlichen Selbsttrückwirkung der Elektrons", *Zeitschrift für Physik*, vol. 64 (1930), pp. 563-568; W. Heisenberg, "Die beobachtbare Grössen in der Theorie der elementaren Teilchen", *Zeitschrift für Physik*, vol. 120 (1942), pp. 513-538, 673-702; F. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen* (Braunschweig, 1960), pp. 107-114.

es enteramente despreciable en nuestra escala macroscópica. Sin embargo, esto no constituye la diferencia entre el espacio y el tiempo clásicos continuos y sus réplicas atomísticas modernas menos radicales.

TIEMPO-ESPACIO PULSACIONAL.

Sería prematuro ver en todos estos intentos hipotéticos algo más que *síntomas.* Como ha dicho Margenau, las especulaciones acerca del «hodón» y «cronón» discretos por parte de los físicos han dado indicio de los fracasos de sus teorías [23]. Hemos señalado (págs. 19-20; 40-41) que ambos conceptos —el átomo de espacio y el átomo de tiempo— son contradictorios, o al menos formulados en un lenguaje autocontradictorio. Cuando afirmamos que el tiempo se compone de cronones que se suceden uno tras otro, y cuando afirmamos que la duración de cada cronón individual es $4,5 \times 10^{-24}$ segundo, ¿qué cosa afirmamos, sino que los intervalos mínimos de tiempo están limitados por dos *instantes* sucesivos, uno de los cuales sucede al otro después del intervalo de tiempo especificado? El concepto de cronón parece implicar sus propios límites; y como estos límites son instantáneos de naturaleza, el concepto de instante se introduce subrepticiamente por medio de la propia teoría que pretende eliminarlo. Una consideración similar se puede aplicar a la atomización del espacio.

Está claro que no podemos soportar una corrección tan falsa, aislada y *ad hoc* como la que hemos descrito anteriormente. Nada se gana si una teoría introduce de un modo disfrazado el concepto que abiertamente elimina. Para que nuestro equipo conceptual sea más flexible y más adecuado, es necesario emprender una revisión extensa y sistemática de nuestros hábitos intelectuales asociados con las ideas tradicionales de espacio y tiempo.

La primera cosa de la que debemos estar conscientes es que hablar *por separado* de cronones y hodones, como si fuesen los átomos del espacio y los átomos del tiempo, delata un estado mental prerrelativista. Antes de la relatividad parecía legítimo considerar por separado al espacio y al tiempo, porque su separación era una de las hipótesis básicas de la física clásica. La imposibi-

[23] H. MARGENAU, *The Nature of Physical Reality,* p. 156.

lidad de separar el espacio del tiempo en la teoría especial de la relatividad es la razón que existe para abandonar el concepto de simultaneidad absoluta o, lo que es igual, de distancia *puramente espacial.* Afirmando la existencia del hodón afirmamos que *hay* una distancia puramente espacial aproximadamente igual a 10^{-13} cm.; en otras palabras, separamos el espacio del tiempo a nivel microscópico, aunque era precisamente a este nivel donde las consecuencias de la relatividad se veían tan espectacularmente confirmadas.

Pero si aceptamos la fusión del espacio y el tiempo incluso en el nivel subatómico, entonces es evidente que no es posible separar al hodón del cronón; son aspectos complementarios de una sola entidad elemental que se puede llamar pulsación de tiempo-espacio. No hay cronón sin hodón, y *viceversa.* Postular un hodón intemporal (o sea, sin cronón) significaría que las secciones instantáneas de los procesos de cuatro dimensiones *son* posibles, por lo menos a nivel atómico, y que hay sucesos absolutamente simultáneos dentro de los átomos. Más específicamente, significaría que hay dentro de los átomos parejas de sucesos que actúan recíprocamente con velocidad infinita; pues hemos visto que los sucesos absolutamente simultáneos se hallarían en una línea universal de cualquier acción física *instantánea.* Todas estas hipótesis (que son realmente una sola hipótesis en varias formas) son contrarias a la teoría especial de la relatividad, y así es muy pequeña su plausibilidad.

Por otra parte, la hipótesis de cronones sin hodones o sin espacios no parece contradecir directamente a la teoría de la relatividad, en la cual se suponía libremente la existencia de líneas universales infinitamente tenues (o sea, líneas universales sin extensión espacial). Sin embargo, después de una inspección más minuciosa, incluso esta hipótesis es incompatible, si no con la letra, al menos con el espíritu de la relatividad. La hipótesis de puntos sin extensión, cuyos agregados continuos infinitos constituirían el espacio, era simplemente otro modo de decir que el espacio era *infinitamente divisible.*

Pero no hay espacio estático en la teoría de la relatividad. Hemos visto que la teoría admite solamente conexiones *sucesivas* de apariencia temporal entre los sucesos; no hay líneas universales de apariencia puramente espacial si tomamos en serio la relatividad de simultaneidad. Así la afirmación de *líneas universales espacialmente sin extensión* es equivalente a la afirmación

de que *o* hay distancias puramente espaciales que son infinitamente divisibles *o* las propias distancias espaciotemporales son infinitamente divisibles. Como queda excluida la primera afirmación, tenemos que considerar sólo la segunda. Pero postular la continuidad de líneas universales de apariencia temporal es contrario a la teoría del cronón. Pues esta teoría supone que *todas* las líneas universales de apariencia temporal, ya sean las de partículas materiales o las de fotones, *no* son divisibles *ad infinitum*. Veremos cómo la probabilidad de esta teoría se ve fortalecida por la evidencia empírica convergente que necesitaba la teoría mecánico-ondulatoria de la materia.

Así, a la luz de las consideraciones precedentes, es superflua la hipótesis de la atomicidad del espacio, porque la existencia del hodón es simplemente cierto aspecto de la realidad de las pulsaciones cronotópicas (espaciotemporales). Mientras que el cronón mide la duración mínima de los sucesos que constituyen una sola línea universal, el hodón mide el tiempo mínimo necesario para la interacción de dos líneas universales independientes. Todo lo que se había dicho acerca de la necesidad de volver a definir la espacialidad se puede repetir aquí; la única diferencia es que se está ahora aplicando a escala microcósmica. No hay conexiones instantáneas puramente geométricas ni en el macrocosmos ni en el microcosmos; en cualquiera de estas dos escalas, estas conexiones deben ser sustituidas por otras cronogeométricas. En cualquiera de ambas escalas el concepto de distancia espacial se ve nuevamente definido en términos de independencia causal. Pero mientras que es de ocho horas el intervalo de independencia entre, por ejemplo, la línea universal de la tierra y la de Neptuno, es igual a la duración de *dos cronones* en el caso de dos «partículas» microscópicas cuando su «distancia» es mínima.

Para todos los fines prácticos, este diminuto intervalo puede ser desconsiderado; en otras palabras, el eslabón temporal entre los sucesos microfísicos puede ser considerado como *instantáneo* y las líneas universales correspondientes como infinitamente cercanas. El cuadro relativista del mundo como *continuum* de cuatro dimensiones de sucesos semejantes a puntos es *aproximadamente* verídico a escala macroscópica, mas se hace gravemente inadecuado cuando se consideran relaciones microscópicas. Pero mientras que el carácter «pulsatorio» de las líneas universales es incompatible únicamente con lo que se puede llamar «relati-

vidad de los libros de texto», resulta enteramente consistente con las hipótesis básicas de la teoría.

Para evitar una formulación autocontradictoria del carácter pulsatorio del tiempo-espacio tenemos que hacer un serio esfuerzo a fin de desembarazarnos de todas las asociaciones espaciales de que se halla matizado nuestro concepto clásico de tiempo. La teoría de los cronones, aunque niega exteriormente la existencia de los instantes, supone realmente su existencia. ¿Qué significa la supuesta existencia de los cronones sino la afirmación de que dos *instantes* sucesivos están separados por un intervalo del orden de 10^{-24} segundo?

Pero esta declaración autocontradictoria se debe al hecho de que tratamos inconscientemente de traducir el carácter pulsatorio de las líneas universales en términos visuales y geométricos. En nuestra imaginación, representamos el lapso de tiempo mediante una línea geométrica ya trazada en la que podemos distinguir un ilimitado número de puntos; de aquí nuestra creencia en la divisibilidad infinita del tiempo. El cronón no se desvía básicamente de este hábito de espacialización; simplemente sustituye los intervalos de longitud finita por intervalos cero. Pero también estos intervalos se representan imaginativamente por medio de segmentos geométricos, y como el concepto de segmento lineal implica naturalmente la existencia de sus límites semejantes a puntos, el concepto de instante, verbalmente eliminado, reaparece en el propio acto mediante el cual se niega. De lo que no se percatan los que niegan y los que afirman la existencia de los cronones es de la imposibilidad de reconstruir cualquier proceso temporal con elementos geométricos estáticos, ya sean estos elementos puntos sin dimensión o segmentos de longitud finita.

Al final del capítulo XII señalamos que la idea espacial del tiempo es inadecuada en un sentido *triple:* 1) por su deficiencia esencial de tiempo; 2) porque erróneamente sugiere que el tiempo, como una lína geométrica, carece de extensión transversal, y 3) porque erróneamente sugiere la divisibilidad infinita del tiempo. Los dos últimos errores condujeron, respectivamente, a los conceptos de líneas universales sin extensión e infinitamente divisibles, infinitamente cercanas una de otra. Para tal criterio, la idea de pulsación cronotópica es radicalmente opuesta, pero tenemos que estar en guardia para no caer en falacias de espacialización cuando tratemos de exponer esta teoría.

Es extremadamente difícil pensar sin ayuda visual, especial-

mente sin símbolos visuales tan sutiles como los que evidentemente dan color incluso a los conceptos más abstrusos (como el del *continuum* matemático) y de los que no se hallan conscientes los matemáticos, torpes en el análisis introspectivo de sus propios procesos de pensamiento. No obstante, un abandono radical de los modelos visuales e imaginativos en la física moderna es absolutamente imperativo para que no se nos escape por completo el significado de la presente crisis de la física. No debemos confundir la obstinada resistencia de los viejos hábitos mentales con la forzosidad lógica o «necesidad *a priori*» de pensamiento. La cuestión de si son posibles otros modelos, o sea, no visuales, de los sucesos y relaciones microfísicos será considerada en la parte final de este libro.

Las dificultades con que nos encontramos cuando tratamos de formular la teoría de las pulsaciones espaciotemporales son análogas a las que experimentaron las primeras formulaciones de los teoremas de la geometría no euclidiana. Como el lenguaje de la geometría era totalmente euclidiano, era casi imposible formular un teorema de geometría no euclidiana sin una aparente contradicción, o sea, sin emplear aparentemente aquellos conceptos euclidianos cuya validez se negaba a propósito. Incluso una persona de mentalidad tan abierta como J. B. Stallo, que tan notablemente anticipó la inadecuada condición de los modelos mecanicistas clásicos, tenía el convencimiento de que estas dificultades eran insuperables:

> Los radios de curvatura de los espacios no euclidianos son radios rectos en el antiguo sentido; pues si no son rectos, son de algún grado definido de curvatura, que igualmente sólo puede determinarse mediante referencia a otro radio, y así sucesivamente, bien *ad infinitum*, o hasta que lleguemos por fin a la antigua línea recta euclidiana[24].

Por entonces no se percataban suficientemente de que el concepto del «radio de curvatura» es simplemente una ayuda visual y euclidiana a nuestra limitada imaginación y que es posible hablar de métrica interna de los espacios no euclidianos sin simbolizarlos mediante superficies curvas de dos dimensiones contenidas dentro del espacio euclidiano. Hemos visto cuán fuerte era la tendencia, incluso en las mentes de algunos intérpretes de la

---

[24] J. B. Stallo, *The Concepts and Theories of Modern Physics*, p. 238.

teoría de la relatividad, a localizar el espacio esférico dentro de un recipiente euclidiano de cuatro dimensiones.

La dificultad con que se enfrenta la teoría del cronón y el hodón es análoga: es extremadamente difícil formular esta teoría sin volver a introducir subrepticiamente el concepto de límites sin extensión. Nuestro lenguaje se halla tan moldeado por los hábitos intelectuales creados por el cálculo infinitesimal que continuamos hablando de instantes y puntos aun cuando tratamos de negarlos. No obstante, incluso algunos matemáticos destacados han empezado ahora a darse cuenta de que puede que no sean legítimos los propios conceptos de punto e instante, porque la divisibilidad infinita del espacio y el tiempo, que estos dos conceptos presuponen, puede ser una insegura extrapolación de nuestra limitada experiencia macroscópica. La idea de Hilbert y Bernays en su *Grundlagen der Mathematik* es muy significativa en este respecto. Después de considerar la solución convencional habitual de la primera de las paradojas de Zenón por medio de series convergentes infinitas, hacen la significativa observación que sigue:

> Realmente hay también una solución mucho más radical de esta paradoja. Consiste en la consideración de que por ningún medio nos vemos obligados a creer que la representación espaciotemporal matemática del movimiento es físicamente significativa para intervalos espaciales y temporales arbitrariamente pequeños; pero más bien tenemos toda clase de fundamentos para suponer que el modelo matemático extrapola el hecho de cierto reino de la experiencia, o sea, los movimientos dentro de los órdenes de magnitud accesibles a nuestra observación, en el sentido de una simple construcción conceptual, de forma análoga al modo en que la mecánica de *continua* completa una extrapolación en que se supone que el espacio se está continuamente llenando de materia... La situación es similar en todos los casos en que se cree es posible exhibir directamente una infinidad como dada por medio de la experiencia o la percepción. ...Un examen más minucioso demuestra luego que una infinidad no es realmente dada para nosotros, sino que primero es interpolada o extrapolada por medio de un proceso intelectual[25].

De manera análoga, más recientemente, Erwin Schrödinger ha señalado que la idea de *extensión continua* «es algo totalmente exorbitante, una enorme extrapolación de lo que es realmente

---

[25] D. HILBERT-P. BERNAYS, *Grundlagen der Mathematik* (Jena, 1931), pp. 15-17.

accesible a nosotros» [26]. Fue una duda similar la que hace más de dos décadas condujo a Schrödinger a ser escéptico acerca de la aplicabilidad de la geometría para pequeñísimas regiones de espacio, o, como debe ser preferible decir, de tiempo-espacio [27]. Como veremos más tarde, es la misma tendencia a extrapolar la que es responsable del estremecimiento de sorpresa con que los físicos, y aún más los filósofos, reaccionaron contra el principio de incertidumbre de Heisenberg. Pero es significativo que algunos matemáticos destacados estén ahora dispuestos a adoptar una actitud más crítica incluso para con un hábito mental tan arraigado como el de la continuidad matemática del espacio y el tiempo.

La actitud de Hilbert y Bernays no está aislada. El intento de Karl Menger de construir una «topología sin puntos» representa en la geometría moderna la trayectoria cuya posibilidad fue anticipada por Emile Borel. Menger se halla claramente consciente de las dificultades con que se enfrenta cuando trata de sustituir la topología tradicional de puntos por la «topología de terrones»:

> Pues, por medio de un terrón, queremos decir algo que tiene un límite bien definido. Pero los límites bien definidos son también resultados de procesos limitadores más que objetos de observación directa. Así, en lugar de terrones, podríamos emplear al principio algo todavía más vago, algo que tal vez tiene varios grados de densidad o que admite por lo menos una transición gradual a su complemento. Tal teoría podría ser útil para la mecánica ondulatoria [28].

La dificultad mencionada por Menger es esencialmente idéntica a la que aludimos anteriormente: el peligro de introducir subrepticiamente en la teoría los propios conceptos que eran considerados como insatisfactorios y que, por tanto, había que eliminar. Aparentemente recomienda como remedio un retorno a la experiencia directa, pero esta recomendación se halla expuesta en términos tan generales que es fácil no reparar en su profundo significado. Yo intento retornar a ella en la última sección del libro.

---

[26] E. Schrödinger, *Science and Humanism* (Cambridge University Press, 1952), pp. 30-31.

[27] E. Schrödinger, "Über die Unanwendbarkeit der Geometrie im Kleinen", *Naturwissenschaften*, vol. 22 (1934), pp. 518-520.

[28] K. Menger, "Topology Without Points", *Rice Inst. Pamphlet*, vol. XXVII (enero 1940), núm. 1, p. 107.

Para nuestra finalidad presente es importante retener el significado negativo de las teorías del cronón y hodón: son síntomas de una creciente conciencia de que los conceptos de puntos sin extensión e instantes sin duración, o —lo que es igual— los conceptos de la continuidad espacial y temporal, apenas son instrumentos adecuados para tratar de la realidad microfísica. La mecánica ondulatoria, y en particular el principio de incertidumbre de Heisenberg, simplemente fortalecieron este escepticismo. El significado del principio se discutirá después más extensamente; aquí limitaremos nuestra atención a esos aspectos suyos que guardan relación con el problema de la continuidad espaciotemporal.

Según el principio de Heisenberg, que se llama también principio de indeterminación, es imposible determinar simultáneamente la velocidad y la posición de un electrón o de cualquier otra partícula microfísica; cuanto más exacta es la determinación de su velocidad (o momento), tanto más insegura se hace su posición, y viceversa. En símbolos,

$$\triangle p \, \triangle x \geqq h$$

donde $\triangle p$ significa la incertidumbre en la medición del momento, $\triangle x$ es la incertidumbre en la posición y h es el átomo de acción de Planck.

Una relación similar es válida para todas las cantidades físicas cuyos productos tengan la misma dimensión que la constante h de Planck. Una relación de incertidumbre igualmente importante es válida para la determinación simultánea de energía y tiempo:

$$\triangle E \, \triangle t \geqq h$$

donde $\triangle E$ significa el error en la medición de energía y $\triangle t$ es la inexactitud en la determinación de su momento de tiempo. Cuanto más preciso es el valor medido de la energía, tanto menos definida se hace la determinación de su fecha.

A su debido tiempo veremos las importantes razones que nos impiden considerar el principio de indeterminación como una simple limitación técnica impuesta a nuestra observación humana por la propia naturaleza del proceso mediante el cual un observador interviene en un objeto observado. Veremos que su significado es mucho más profundo e indica la presencia de contingencia real en la naturaleza de las cosas. Pero si aceptamos esta interpretación es evidente que la imposibilidad de determinar si-

multáneamente la posición y la velocidad, o la energía y el tiempo, es equivalente a la imposibilidad de determinar los estados instantáneos de las líneas universales individuales *por la simple razón de que tales estados instantáneos no existen en la naturaleza.* Mientras que la relatividad de la simultaneidad excluía la posibilidad de secciones transversales instantáneas en la conversión de cuatro dimensiones, el principio de indeterminación de Heisenberg en su segunda forma prohibe este corte transversal instantáneo en una línea universal individual. Su significado filosófico fue expuesto con soberbia concisión por Zigmund Zawirski en 1934:

> Si el corte instantáneo del transcurso temporal, según la fórmula de Heisenberg, deja la energía completamente indeterminada, ¿no demuestra esto que el universo necesita cierto tiempo para tomar formas precisas? [29].

En su primera forma el principio de Heisenberg destruye la posibilidad de las propias líneas universales, al menos mientras sean consideradas en la teoría de la relatividad clásica como líneas claramente definidas sin espesor espacial. No es necesario defender las teorías específicas del hodón y el cronón para dudar de la legitimidad de la divisibilidad infinita del espacio y el tiempo; es suficiente sacar consecuencias del principio de incertidumbre para ver la imposibilidad de localización absolutamente clara y determinación absolutamente precisa de la fecha de los acontecimientos microfísicos. Fue simplemente natural que Louis de Broglie sacara la conclusión de que la física de los *quanta* introduce, en cierto sentido, «la discontinuidad de conversión» y que la continuidad del tiempo macroscópico es tan sólo una ilusión que resulta estadísticamente del enorme número de sucesos elementales discontinuos [30].

Se puede objetar que el principio de Heisenberg no conduce necesariamente al concepto de pulsación espaciotemporal mínima. aunque es compatible con él. Es teóricamente concebible que mientras Δp se incrementa sin límite, Δx se aproximará a cero; de forma análoga, para $\Delta E = \infty$, Δt sería igual a cero. Matemáticamente, estos casos límites son compatibles con la fórmula

---

[29] S. Zawirski, "L'evolution de la notion du temps", *Scientia,* vol. 28 (1934), p. 260.

[30] L. de Broglie, "L'espace et le temps dans la physique quantique", *Revue de Metaphysique et de Morale,* vol. 54 (1949), pp. 115-117.

de Heisenberg: $\Delta x = 0$ significaría la posibilidad de una precisa localización puntual en el espacio, mientras que $\Delta t = 0$ significaría la correspondiente posibilidad de una precisa determinación de fecha. Así, hablando estrictamente, el principio de Heisenberg es matemáticamente compatible con la existencia de posiciones semejantes a puntos e instantes matemáticos que requiere el principio de la continuidad espaciotemporal.

Por varias razones, sin embargo, esta compatibilidad puramente formal sigue siendo totalmente inconvincente para un físico. No sólo es difícil dar una interpretación física cabal a estos casos límites, para los que la indeterminación de momento o energía debe ser infinitamente grande, sino que hay también una considerable evidencia física contra su ocurrencia real. Algunos hechos de la física nuclear sugieren la existencia de una longitud espacial mínima del mismo orden que el radio del electrón, que limitaría la exactitud en la medición de la posición *independientemente* de la inexactitud en la medición del correspondiente momento. El intervalo temporal mínimo posible sería entonces igual a la proporción l_0/c, o sea, de la longitud mínima l_0 y la velocidad de la luz c. Los valores numéricos calculados son aproximadamente los mismos que los valores numéricos del cronón y el hodón hallados por Lévi, Pokrowski, Beck y otros hace casi treinta años [31]. Si estamos en guardia contra la exposición de estas ideas en lenguaje prerrelativista, son equivalentes a la teoría de pulsaciones espaciotemporales bosquejada anteriormente.

Así, la condición inadecuada del concepto de continuidad espaciotemporal parece quedar establecida para todos los fines prácticos. Podemos concluir con las palabras de Leon Schames, que son tan válidas ahora como lo eran hace un cuarto de siglo:

> Por último, si comparamos el concepto de continuidad con el de atomismo, se puede decir que, en general, aquél parece estar más de acuerdo con la estructura de nuestro pensamiento. *Pero no es menester que coincidan siempre la estructura de nuestro pensamiento y la estructura de la realidad* [32].

---

[31] W. HEISENBERG, *loc. cit.*, p. 514; P. JORDAN, "Zur axiomatischen Begründungen der Quantenmechanik", *Zeitschrift für Physik*, vol. 133 (1952), pp. 21-29.

[32] L. SCHAMES, *loc. cit.*, p. 281.

CAPITULO DECIMOCUARTO

La evolución del concepto de materia

LA INSUFICIENCIA DE LOS MODELOS CORPUSCULARES.

Era prácticamente imposible tratar de la revolucionaria transformación de los conceptos de espacio y tiempo sin indicar a la vez algunas modificaciones concomitantes y no menos radicales a las que se ha visto sometido el concepto clásico de materia en las últimas décadas. Ya hemos indicado cómo la teoría general de la relatividad borró la distinción tradicional entre la cinemática y la dinámica. Los efectos gravitatorios de la materia quedaron reducidos a los efectos de la curvatura local del tiempo-espacio, mientras que las manifestaciones inerciales de la materia son ahora consideradas, según el principio de equivalencia, como no básicamente distintas a las de la gravitación. En otras palabras, el campo de inercia es meramente un campo gravitatorio con una curvatura espaciotemporal que se desvanece. Incluso el núcleo substancial de la materia, designado por los físicos clásicos como «impenetrabilidad» o como *vis insita* por Newton, es ahora considerado como nada más que cierta complicación estructural en el medio espaciotemporal. Ya se considere la existencia de las partículas elementales discretas como una singularidad («agujero») dentro del tiempo-espacio no euclidiano o como manifestación del carácter discreto (pulsacional) del tiempo-espacio, el significado filosófico sigue siendo idéntico: la distinción entre «pleno» y «vacío», en la que se basaba el concepto clásico de partícula, está siendo ahora profundamente revisada.

Es necesario un estudio más sistemático para demostrar cómo todos los hechos recientemente descubiertos apuntan en la misma dirección y conducen al mismo resultado, que de igual manera se halla bien caracterizado como «geometrización de la materia» o como «dinamización» o «fisización» del espacio (o más bien del tiempo-espacio).

En la parte I hemos señalado cómo el programa mecanicista clásico de la explicación cinético-corpuscular se realizaba con éxito en gran medida a escala macroscópica e incluso a escala molecular. Pero dentro de las dimensiones que se aproximan al tamaño de los átomos, y especialmente de las «partículas» subatómicas, las deficiencias del esquema cinético-corpuscular se hicieron gradualmente más obvias cada vez. Es cierto que la teoría del electrón, especialmente en su primera fase, puede ser considerada como una victoriosa culminación de las tendencias clásicas: la aparentemente inagotable variedad de naturaleza quedó reducida a diferencias de configuración de los mismos elementos básicos, que eran las últimas unidades de la materia y electricidad al mismo tiempo, mientras que todos los cambios infinitamente abigarrados parecían ser reducibles a desplazamientos de los mismos elementos homogéneos. Había una razonable esperanza de que tarde o temprano se llenarían los restantes huecos; en particular, se esperaba que la diferencia entre electricidad positiva y negativa sería finalmente interpretada en términos cinéticos. Pues si las cargas positiva y negativa elementales eran simplemente estructuras etéreas o, con palabras de Larmor, «núcleos de anudamiento de éter» [1], entonces es natural esperar que sus diferencias de conducta, sus atracciones y repulsas mutuas, sean finalmente deducibles de la mecánica de éter y las partículas de éter. Así el «alfabeto del Ser» de Demócrito finalmente parecía estar dentro del alcance de la ciencia.

Pero ciertos descubrimientos concretos demostraron cada vez más convincentemente que las «partículas» de la física moderna no exhibían esas lindas cualidades postuladas por el atomismo clásico. En primer lugar, en contra de las esperanzas naturales, aparentemente no había proporcionalidad entre masa y volumen, una de las predilectas ideas del esquema mecanicista de la naturaleza. Casi toda la masa del átomo se concentra en el núcleo; la proporción de la masa del electrón con la masa del núcleo de hidrógeno es 1 : 1.834. Lo que es aún peor, no sólo no son los electrones más pequeños que los protones en la correspondiente proporción, sino que, por el contrario, ¡se calculaba que los electrones giratorios como planetas tenían un radio *mil veces mayor* que el del núcleo de hidrógeno, de semejanza solar! Aun cuando

---

[1] E. T. WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. I, pp. 287-288.

se demostró más tarde que este cálculo era erróneo [2], todavía se cree que los núcleos, a pesar de poseer casi toda la masa del átomo, tienen radios del mismo orden de magnitud que el de los electrones, o sea, 10^{-13} cm. Se vieron frustradas todas las esperanzas de los físicos de mentalidad mecanicista acerca de que la teoría del electrón rehabilitaría la *proporcionalidad entre masa y volumen* de las partículas elementales, la proporcionalidad que, como hemos visto, es la piedra angular de la teoría atómica.

La proporcionalidad entre la «cantidad de materia» y «volumen», requerida por la famosa definición primera de Newton, se vio así provocada por la experiencia microfísica. Aceptando la diferente densidad de materia en electrones y protones, los físicos, sabiéndolo o no, se desviaban de uno de los postulados básicos del esquema atomístico-cinético de la naturaleza. Sólo las teorías dinámicas de la materia, como las de Boscovich y Kant, consideraban las diferencias de densidad como irreducibles a diferencias de distribución espacial de unidades elementales igualmente densas.

Había otras dificultades que incluso eran más graves. Un postulado fundamental de la idea atomística clásica era la *constancia de la masa* de las unidades elementales; éste era el fundamento para la ley de la conservación de la materia a escala macroscópica. La constancia era una consecuencia natural de la substanciabilidad e inmutabilidad de las unidades atómicas; no es preciso repetir el razonamiento expuesto en la parte I. Pero esto es precisamente lo que *no* se ha hallado para los electrones; su masa es una *función de la velocidad*. Incrementa cuando incrementa su velocidad: al principio, muy lentamente, pero, en velocidades que se aproximan a la velocidad de la luz, con una notable suficiencia para detectarlo experimentalmente.

---

[2] La proporcionalidad indirecta entre el radio y la masa de las cargas elementales se deduce de la fórmula para la masa electromagnética: $m = 2e^2/3r$, donde m es masa electromagnética, e = carga elemental, y r su radio. Compárese J. J. THOMSON, *Electricity and Matter* (Yale University Press, 1903), pp. 21, 94. Como la carga elemental es la misma para el electrón y el protón, sus radios deben estar en proporción inversa a sus masas electromagnéticas, o sea, el radio del protón debe ser del orden de 10^{-16} cm. Se suponía que toda la masa de ambas cargas es de naturaleza electromagnética. Pero este resultado se hallaba en conflicto con todos los datos experimentales. Nada menos que nueve métodos experimentales diferentes para medir el radio nuclear conducen a la conclusión de que es del mismo orden de magnitud que el del electrón. Compárese ROBLEY D. EVANS, *The Atomic Nucleus* (Nueva York, McGraw-Hill, 1955), pp. 30-31.

La fórmula correspondiente para la masa en movimiento

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

(donde m_0 = masa en reposo, v = velocidad de cuerpo y c = velocidad de la luz) es una consecuencia lógica de la nueva ley de Einstein para la composición de las velocidades

$$w = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

que a su vez se deduce naturalmente de la transformación de Lorentz. Ya nos hemos referido a esta importante diferencia entre la mecánica newtoniana y einsteniana. Según Newton, cualquier cuerpo material que posea dos velocidades diferentes al mismo tiempo tendrá una velocidad resultante igual a su suma vectorial; en el caso especial en que sus direcciones son iguales u opuestas, será igual a su suma algebraica.

Hemos visto que la ausencia de límite máximo para crecientes velocidades de cuerpos materiales era simplemente otro aspecto de la indiferencia física del espacio y tiempo clásicos a los cambios físicos que tienen lugar en él. Se creía que la resistencia de cualquier cuerpo a la aceleración era idéntica, ya estuviese el cuerpo en reposo o en movimiento, y sin que importase la rapidez con que se moviera. Esta constancia de la resistencia a la aceleración no era nada más que la *constancia de la masa inercial,* que era independiente tanto de la posición como de la velocidad del cuerpo en cuestión. En esta conexión lógica entre la homogeneidad (o sea, pasividad física) del espacio-tiempo clásico y la rigidez y constancia de la materia ya hemos reconocido la inseparabilidad de la cinemática y la dinámica *incluso dentro de la estructura clásica.* Ya hemos visto que, por paradójico que parezca, la estructura del espacio y tiempo clásicos era tan sólo falsamente pasiva, porque determinaba el carácter privilegiado del movimiento inercial, así como la rigidez y constancia de los cuerpos materiales.

Ahora bien, tal constancia es negada por la teoría especial de la relatividad, y la negación se ve apoyada por un considerable cuerpo de evidencia. ¿Significa esto que la ley de la conservación de la materia ya no es válida? Esta sería una conclusión pre-

matura, y el carácter aparentemente irracional de la dinámica relativista adquirirá un aspecto menos chocante si tenemos en cuenta que la antigua máxima de Lucrecio *ex nihilo nihil fit* realmente *no* se ve violada en este caso. Esto se hace patente en el período inmediatamente anterior a la relatividad cuando la teoría electromagnética de la materia fue recibida como sucesor legítimo de la antigua teoría mecánica.

Según esta teoría, la «masa» del electrón era sólo aparente, debiéndose exclusivamente a la reacción del medio circundante, que entonces se llamaba «éter electromagnético». Cuando un electrón es puesto en movimiento se crea un campo magnético en el plano perpendicular a su trayectoria y su reacción al movimiento de un electrón se manifiesta como incremento de masa. Así, lo que solíamos llamar «materia» parecía ser de origen exclusivamente electromagnético; la resistencia inercial a la aceleración, que Newton consideraba como residiendo inherentemente *dentro* de las propias partículas, parecía ser debida al efecto frenador del medio electromagnético circundante.

Era también comprensible que esta resistencia a la aceleración debiera incrementarse con la velocidad de los electrones, que no pueden superar ni siquiera alcanzar cierta velocidad crítica, o sea, la velocidad de la luz. Pues mediante esta velocidad se propagan todos los disturbios electromagnéticos, incluyendo el propio campo eléctrico que rodea a un electrón y se halla indisolublemente asociado con él. Un electrón que alcanzase o superase la velocidad de la luz sería una contradicción física, porque rompería su conexión con el campo de que, por decirlo así, es producto. No faltaban analogías mecánicas que ilustraban esta imposibilidad. Ninguna complicación estructural de ningún medio físico puede superar ni siquiera alcanzar la velocidad de los disturbios elementales del mismo medio. Por ejemplo, ningún remolino aéreo puede moverse con una velocidad mayor que la velocidad de las moléculas de aire. Es evidente que ningún agregado puede moverse con mayor rapidez que sus partes constituyentes; esto es generalmente válido para cualquier medio, ya sea aire o éter hipotético [3].

Así está claro que el incremento de la masa con la velocidad

[3] Compárese P. LENARD, *Über Äther und Materie* (Heidelberg, 1911), con respecto a este tipo de explicación. J. J. THOMSON *(op. cit.,* pp. 22-23) utilizó la analogía mecánica de una esfera moviéndose a través de un líquido sin fricción para ilustrar la creciente resistencia de un cuerpo a la aceleración.

no surge «de la nada», sino de la energía electromagnética del éter. La analogía mecánica, mencionada anteriormente, sugiere la posibilidad de la explicación mecánica del aparente incremento de la masa electrónica a lo largo de las mismas líneas que la explicación de la contracción de Lorentz-FitzGerald, a la que nos hemos referido brevemente en el capítulo X. La tentación a utilizar ingenios clásicos para explicar los efectos relativistas era realmente grande; tres siglos de tradición científica predisponían a los físicos para buscar este tipo de solución. Porque el incremento de la masa de un electrón no surge de la nada, el principio de conservación de la substancia no se ve necesariamente amenazado, ni tampoco el concepto mecanicista de la naturaleza, con el que los principios de conservación, como hemos visto, se hallaban regularmente asociados en el pasado. Para salvar a ambos sería suficiente repetir lo que se había hecho varios siglos antes: buscar unidades de la naturaleza más pequeñas y más fundamentales.

Parecía difícil condenar tales intentos sobre una base *a priori*. Después de ser descubierta la divisibilidad de las moléculas, la permanencia de la materia se buscaba en los átomos; cuando, finalmente, los átomos resultaron ser divisibles, la substancialidad y la permanencia volvieron a los electrones. Ahora bien, si los electrones no poseen la constancia requerida de su masa, ¿por qué no buscar partículas más pequeñas y «verdaderamente» permanentes? La historia parece advertirnos suficientemente que no seamos dogmáticamente escépticos acerca de tales intentos. Un gran error de J. B. Stallo en 1881 fue el de afirmar prematuramente que la fructuosidad de las explicaciones mecánicas había pasado ya; esta creencia errónea le condujo a desechar inmediatamente la hipótesis según la cual las propias moléculas son complejas, hallándose constituidas por unidades más elementales y verdaderamente atómicas [4]. Cuando incluso los electrones habían perdido su constancia y substancialidad, los físicos empezaron a cansarse de repetir el procedimiento clásico y de reducir los electrones a unidades más elementales y «verdaderamente últimas»; pero, al mismo tiempo, era natural y sumamente concordante con los hábitos clásicos volver a hacer otros intentos, incluso corriendo el riesgo de otra frustración. Si los propios electrones no son nada más que condensaciones de la energía electromagnética, ¿no

---

[4] J. B. Stallo, *The Concepts and Theories of Modern Physics*, p. 35.

es esta misma energía de naturaleza *mecánica*, o sea, una energía cinética de partículas de éter?

Los electrones perderían así su substancialidad, o sea, su constancia e individualidad, pues no serían nada más que disturbios relativamente estables del medio cósmico, disturbios análogos a las ondas o remolinos que se mueven en la superficie de un océano. Lo mismo que en un océano, la verdadera substancialidad pertenece no a las ondas de su superficie, sino a las partículas móviles y vibrantes del agua, así en él la verdadera constancia e individualidad pertenecería no a los electrones o protones, sino a las partículas de éter que los constituyen. El aparente incremento de la masa electrónica sería, al menos en principio, concebible como resultado de acumulación de las partículas de éter delante de los electrones en movimiento, y el límite máximo para la velocidad de los electrones en movimiento encontraría su explicación natural en la resistencia del medio etéreo, la resistencia que, según Fournier d'Albe, tiende a hacerse infinita cuando la velocidad de los electrones se aproxima a la velocidad de la luz [5]. La teoría de los átomos de éter salvaría también a la proporcionalidad clásica entre masa y volumen; la diferencia entre la masa del electrón y la del protón se debería al *mayor apretamiento* de las partículas de éter igualmente masivas en este último. Las hipótesis mecanicistas de Lenard, Wiechert, Jellinek, Oliver Lodge y J. J. Thomson [6] eran de este tipo, y ya se ha demostrado que se puede seguir el rastro de esta tradición hasta Kurd Lasswitz, William Thomson, y aún más atrás en el pasado, hasta la física cartesiana del siglo XVII.

Pero la idea del éter como *milieu*, material sutil que llena el espacio y posee propiedades mecánicas, quedó gradualmente tan desacreditada que la mayoría de los físicos reconocieron su infructuosidad. Las extremadas dificultades con que se enfrentaban los físicos del siglo XIX al tratar de ingeniarse un modelo mecánico del éter, dotado de propiedades no contradictorias, mediante las

[5] FOURNIER D'ALBE, *Two New Worlds*, p. 89. Compárese la nota 3 de este capítulo en cuanto a una explicación similar del límite máximo de velocidades, así como del incremento de masa por J. J. Thomson.

[6] P. LENARD, *op. cit.*; también *Über Relativitätsprincip, Äther, Gravitation* (Leipzig, 1910); E. WIECHERT, *Der Äther im Weltbild der Physik* (Berlín, 1921); KARL JELLINEK, *Das Weltengeheimis* (Stuttgart, 1921), especialmente p. 74; O. LODGE, *The Ether of Space* (Nueva York, Harper, 1909); *Ether and Reality* (Nueva York, Doran, 1925); J. J. THOMSON, *op. cit.*; *The Structure of Light* (Cambridge University Press, 1925); *Beyond the Electron* (Cambridge University Press, 1928).

cuales pudieran explicarse los fenómenos observados, contribuyeron grandemente a la creciente desconfianza de las explicaciones mecánicas. Aun antes del advenimiento de la relatividad, semejante tarea era gigantesca. Un modelo satisfactorio del éter debe explicar no sólo *todos* los fenómenos electromagnéticos (incluyendo su subclase, los fenómenos de la luz), sino también los fenómenos de la gravitación; después de la emergencia de la teoría del electrón y el descubrimiento de los efectos relativistas a escala microfísica, la tarea se dilató enormemente porque un extenso modelo del éter debe explicar los fenómenos de inercia, así como los de cargas electrónicas discretas. Ya hemos visto que en la búsqueda de una explicación mecánica subyacía la esperanza de alcanzar esa *partícula sólida* microscópica evasiva que, desde la época de Lucrecio, había fascinado las imaginaciones de físicos y filósofos, y mediante su solidez e indestructibilidad parecía poseer los atributos requeridos del «último elemento de la naturaleza».

Pero esta engañosa imagen retrocedía ininterrumpidamente a medida que la física avanzaba y penetraba cada vez más en el microcosmos. Es apenas sorprendente que los físicos frustrados empezaran a darse cuenta de que la partícula sólida era simplemente un espejismo de sus imaginaciones. Cuando incluso los electrones perdieron su supuesta solidez y, como veremos, su indestructibilidad e increabilidad, todo el juego de buscar el «último elemento» se hizo desalentador y monótono. Aunque todavía hay físicos que miran llenos de esperanza hacia el éter como pista para la explicación de los fenómenos microfísicos, su número ha menguado substancialmente desde el advenimiento de la relatividad. Pues la teoría especial de la relatividad fue realmente un golpe decisivo del que nunca se recuperó plenamente el concepto clásico del éter.

Ya consideremos el *milieu* etéreo como atomístico en el sentido de Huygens y Lasswitz, o (menos consistentemente) como continuo en el sentido de William Thomson, o incluso si recurrimos al concepto más abstracto del éter de Lorentz, todavía se retiene cierta faceta, su *inmovilidad*. Se suponía que el éter electromagnético estaba *en reposo*, como quiera que se especificasen sus otras propiedades. Esto significaría que los efectos ópticos del movimiento a través de tal éter deberían ser observables al menos en principio; como sabemos, no eran observables tales fenómenos. Mediante el descubrimiento de la velocidad constante de la luz,

el modelo mecánico-visual clásico del éter quedó irreparablemente destruido. ¡Si todavía continuamos empleando el término «éter», entonces, como acentuó Einstein, debemos considerarlo como *no estando en reposo ni en movimiento!* [7].

Pero ¿por qué utilizar un término con asociaciones tan desorientadoras? Pues el término «éter» sugiere inevitablemente la idea de substancia material o casi material. ¿Qué tipo de substancia es algo cuyas propiedades son tan enteramente diferentes de la materia ordinaria de nuestra experiencia diaria, y que ni siquiera posee las propiedades cinéticas elementales como el reposo o movimiento? La conclusión de Hermann Weyl de que ha terminado el papel del concepto de substancia en la física parece estar justificada a la luz de lo que sucedió al supuesto substrato último y permanente de todos los fenómenos físicos [8].

La fusión de la masa con la energía.

Así, en vez de tratar de resolver el incremento paradójico de la masa electrónica mediante ingenios clásicos que salvarían la validez de los conceptos tradicionales a escala de magnitud ultraelectrónica (o sea, etérea), los físicos generalmente siguieron el camino de Einstein, el cual condujo a toda la reformulación de los fundamentos de la mecánica. Para Einstein, el incremento de la masa inercial, así como la ley modificada para la composición de velocidades, eran simples consecuencias de las ecuaciones de Lorentz, o sea, de la fusión del espacio con el tiempo.

Incluso dentro de la dinámica relativista no se ve violado el axioma *ex nihilo nihil fit*, aunque se halla libre de su conexión tradicional con el modelo atomístico-cinético del universo. La dinámica relativista, generalizando el concepto de masa, retiene el principio de conservación. Esto se hace mediante la famosa ecuación $E = mc^2$, según la cual toda forma de energía posee cierta masa inercial, y viceversa. Así, al incrementar la energía cinética de una partícula, incrementamos al mismo tiempo su masa. Por tanto, el incremento de masa no surge «de la nada», sino que es equivalente a la fracción de masa inercial contenida en el incre-

[7] A. Einstein, *Ether and the Theory of Relativity.* Una alocución pronunciada el 5 de mayo de 1920 en la Universidad de Leyden. Traducción de G. B. Jeffery y W. Perret. En *Sidelights on Relativity* (Methuen, Londres, 1922).

[8] H. Weyl, *Was ist Materie?*, p. 18.

mento de la energía cinética. La cantidad extremadamente diminuta de este incremento ($m = E/c^2$) explica su inobservabilidad en circunstancias ordinarias, y lo hace observable únicamente en velocidades mecánicas grandes, como en los experimentos de Kauffmann y de Bucherer con rayos beta, o en electrones que giren rápidamente alrededor del núcleo en el modelo del átomo de Sommerfeld. Esto significa que ambas leyes, la ley de la conservación de masa y la de la conservación de energía, dejan de ser válidas por separado; pero generalizando ambos conceptos, y, por decirlo así, fusionándolos en el sentido de la ecuación de Einstein, creamos un solo concepto, «masa-energía», para el cual sigue siendo válido el principio de conservación.

No es necesario extendernos sobre la sorprendente infructuosidad de la ecuación de Einstein y las muchas aplicaciones que encontró en la interpretación de los fenómenos físicos y, en particular, microfísicos. La validez de la ecuación es enteramente general: *toda* energía tiene su masa inercial, y viceversa. Por tanto, es natural esperar que la luz o la energía electromagnética tenga cierta masa y, por consiguiente, tenga que ejercer cierta presión y ser afectada por el campo gravitatorio. Ambas consecuencias se confirmaron experimentalmente: la primera lo fue por Lebedev en 1900, aun antes del advenimiento de la relatividad, y la segunda lo fue cuando la curvatura de los rayos de luz en el campo gravitatorio del sol, predicha por Einstein, fue observada durante el eclipse solar en 1919.

Además, la ecuación requiere que *todo* incremento o reducción de energía implica un incremento o reducción de la masa inercial correspondiente. Por consiguiente, la masa total de un agregado material ya no es igual a la suma aritmética de sus componentes corpusculares individuales, como sucedía en la física clásica. Se reduce o se incrementa, según sea liberada o absorbida la energía en el proceso de agregación. Así, cuando la formación de 1 mol de CO_2 libera 92.400 calorías, hay una pérdida de masa; por otra parte, cuando 21.600 calorías son absorbidas en el proceso de formación de 1 mol de NO, es positivo el resultante efecto de masa.

Pero las modificaciones de masa total en reacciones químicas ordinarias eran demasiado pequeñas para ser observadas, como resulta evidente de inmediato si dividimos las cantidades de energía dadas anteriormente por el cuadrado de la velocidad de la luz. Esto explica el hecho de que incluso los magníficos experi-

mentos de Landolt no descubrieron ninguna variación de masa en reacciones químicas ordinarias. Los límites de exactitud de Landolt eran tales que sólo pudieron ser descubiertas variaciones que implicaban cantidades de nada menos que la millonésima parte de la masa total. Esto se hallaba muy por debajo de los límites de exactitud necesarios para determinar los efectos de masa relativistas, que son del orden de 10^{-10} del peso total [9].

La situación es diferente si, en vez de reacciones físicas ordinarias, consideramos las formaciones de núcleos atómicos. Uno de los más famosos ejemplos es el defecto de masa que resulta de la formación de una partícula alfa (o sea, el núcleo de un átomo de helio) por dos protones y dos neutrones. La masa de un protón es 1,00758, mientras que la masa de un neutrón sólo es ligeramente diferente: 1,00893. Según las ideas clásicas, la masa del agregado de dos protones y dos neutrones debe ser

$$2 \times 1{,}00758 + 2 \times 1{,}00893 = 4{,}03302$$

mientras que la masa de un núcleo de helio es únicamente 4,00280. En otras palabras, aproximadamente 0,030 unidades de masa «desaparecieron» o, más exactamente, fueron convertidas en la energía unitiva del núcleo. Similares defectos de masa fueron hallados en otros núcleos; son muy grandes en los elementos del centro de la tabla periódica. La espectacular aplicación tecnológica de la energía liberada por «aniquilación» de cierta fracción de masa durante el proceso de fisión nuclear es suficientemente conocida para no extendernos sobre ella. En cuanto se refiere al opuesto fenómeno de la «materialización» de energía, tiene lugar en las denominadas reacciones endoérgicas, en las que la energía es absorbida en vez de ser liberada. En el último caso, hay un incremento de la propia masa en reposo, que todavía sigue siendo constante en el incremento de la masa electrónica en movimiento. Pero en breve encontraremos fenómenos aún más sorprendentes de materialización y desmaterialización.

Mientras tanto, ponderemos el significado filosófico de estos nuevos descubrimientos, significado que apenas puede ser sobreestimado. Está claro que ahora la materia ya no es equivalente al *plenum* o «espacio lleno», o sea, a ciertas regiones de espacio

---

[9] MAX VON LAUE, "Inertia and Energy", en *Albert Einstein: Philosopher and Scientist*, editado por P. A. Schilpp (Evanston, 1949), pp. 530-532.

bien definidas, llenas de «substancia material» y claramente separadas del vacío intermedio. Por el contrario, la masa se halla ahora muy íntimamente asociada con el medio espacial, o más bien espaciotemporal, circundante, pues está presente en el eslabón energético que une las «partículas». Así la distinción entre «lleno» y «vacío» pierde las originales características que le dieron Demócrito y Newton. Esta distinción, ya obscurecida por la teoría especial de la relatividad, fue enteramente eliminada por la teoría general de la relatividad.

Sería ocioso repetir lo que ya hemos declarado acerca de que la materia es reabsorbida en el espacio, o más exactamente, en el tiempo-espacio. Lo que se solía llamar «substancia material» o «cantidad de materia» ha quedado reducido a una deformación local de espacio que no sólo perdió su carácter euclidiano y su inacción física («vaciedad»), sino que en virtud de su fusión con el tiempo merece algún nombre más adecuado que el que se halla matizado por asociaciones clásicas desorientadoras. El término «proceso de cuatro dimensiones» o «conversión extensiva» sería mucho más adecuado.

Pero si una partícula material es simplemente una irregularidad local del medio cósmico no euclidiano que antiguamente se llamaba «éter», es concebible que bajo ciertas circunstancias tal deformación pueda desaparecer. Cualquier desaparición semejante sería equivalente a una «aniquilación» completa de materia o su «desmaterialización». Oliver Lodge vislumbró esta posibilidad hace más de treinta años [10]. Si el protón y el electrón pudieran ser superpuestos o fusionados, entonces no sólo serían sus cambios mutuamente neutralizados, sino que también sus masas, suponiendo que sean inseparables de sus cargas, se desvanecerían por completo. En lenguaje de Einstein, Weyl y Eddington, tal fenómeno no sería nada más que una superposición de dos curvaturas locales de orientación opuesta del tiempo-espacio no euclidiano; se cancelarían mutuamente como dos ondas de igual amplitud encontrándose en fases opuestas, y el resultado sería una desaparición local de la curvatura no euclidiana. Esa región particular del tiempo-espacio adquiriría el carácter homogéneo e indiferenciado que caracteriza lo que llamamos «vacío» o «ausencia de materia». Utilizando un lenguaje cartesiano-kelviniano —indudablemente cándido, pero expresivo y atractivo para nuestra

---

[10] LODGE, *Ether and Reality*, pp. 143-144.

imaginación macroscópicamente condicionada—, podríamos decir que la condensación o formación en apariencia de remolino que constituye la propia partícula se disolvió en la continuidad indiferenciada del éter. Tal desaparición del acento espaciotemporal se manifestaría mediante la emergencia de una onda de muy alta frecuencia cuya energía sería equivalente a la energía interna de la masa desvanecida.

También es evidente que sería prematuro hablar de la «aniquilación de materia» en un sentido literal, porque la masa desvanecida «se conserva» en la inercia de la radiación electromagnética resultante en que se transformaron las dos partículas. Pero la indestructibilidad de la materia se salva únicamente porque hemos abandonado por completo sus propiedades visuales e intuitivas. Ciertamente, la masa de un fotón que se mueve con velocidad *c*, que no puede ser alcanzada por ninguna masa ordinaria, que no existe *nada más que* en movimiento y desaparece cuando queda en reposo (aunque, según la ecuación de Einstein, «se conserva» en el *quantum* de energía absorbida por un átomo), y cuya pista no se puede seguir de una manera continua como la masa de los planetas y de los proyectiles: tal masa es *toto coelo* diferente de la masa de las partículas localizables sólidas de la física newtoniana. De cualquier forma, la identificación de Einstein de masa y energía no salva la indestructibilidad de las partículas que evidentemente pueden desvanecerse si desaparecen las deformaciones espaciotemporales subyacentes, de las que son efectos.

Una confirmación concreta de la hipótesis de la desmaterialización de las partículas elementales se presentó en una forma ligeramente distinta de la propuesta por Oliver Lodge. Pero, a pesar de las diferencias de detalles, quedó establecida la ocurrencia de desmaterialización y, lo que es aún más importante, la ocurrencia del fenómeno inverso, *la materialización de las partículas*, quedó demostrada al mismo tiempo. Una nueva partícula elemental, cuya masa es igual a la del electrón, pero cuya carga es igual y positiva, fue descubierta por Anderson en 1932[11]. Cuando pesados núcleos fueron irradiados por radiación de muy alta frecuencia, aparecieron parejas de partículas de carga opuesta, y como la carga y la masa de una de ellas correspondía a un electrón negativo, la segunda, cuyo sendero en el campo eléctrico se curvaba simétricamente en sentido opuesto, tuvo que ser iden-

[11] C. D. Anderson, *Science*, vol. 76 (1932), p. 238.

tificada con un electrón positivo. Porque la energía cinética de la pareja producida es incomparablemente más pequeña que la energía de la radiación incidente, se cree que la principal porción de la energía de radiación *se transformaba en la masa en reposo de las dos partículas* y sólo la parte restante se convertía en su energía cinética. La ley de conservación de masa-energía evidentemente no se ve violada, puesto que todo el proceso se rige por la ecuación energética

$$E = 2m_0c^2 + \tfrac{1}{2}m_0v_1^2 + \tfrac{1}{2}m_0v_2^2$$

donde E es la energía de la radiación incidente, m_0 la masa de cada electrón, c la velocidad de la luz, y v_1 y v_2 las respectivas velocidades de las partículas producidas. Y tampoco se ve violada la ley de conservación de cambio, puesto que la radiación eléctricamente neutral se convirtió en una pareja de partículas de carga opuesta cuya carga *total* es igual a cero. Según las normas clásicas, este proceso es equivalente a la *materialización* de la energía, o sea, la *desaparición* de energía y la *creación* de materia; sólo asociando estos dos conceptos, que eran separados y distintos en la estructura clásica, en un solo concepto relativista, «masa-energía», fue posible salvar *formalmente* la ley de conservación. El propio fenómeno fue una inesperada confirmación de la ecuación de Einstein con respecto a la identidad de materia y energía.

Pero la ecuación en sí apenas da una pista acerca del mecanismo de esta transformación, que se resiste a cualquier intento de representación pictórica. Esto apenas sorprende, porque la ecuación es una consecuencia de la transformación de Lorentz, cuyas varias facetas, o sea, la constancia de la velocidad de la luz y la repulsa del espacio absoluto, deben parecer disparates chocantes a todos los que siguen siendo leales al ideal de explicación cartesiano-kelviniano.

Un fenómeno inverso, *la desmaterialización de los electrones*, fue descubierto por Thibaud y Joliot casi al mismo tiempo [12]. Al menos en principio, era una confirmación de la hipótesis anticipada de Lodge, aunque de forma diferente. (Hoy sabemos que los protones pueden ser aniquilados fusionándolos con los antipro-

---

[12] "Preuve expérimentale de l'annihilation des électrons positifs". *Revue scientifique*, vol. 73 (12 janvier 1935).

tones recientemente descubiertos, y no con los electrones negativos, como anticipó Lodge.) La ocurrencia extremadamente rara, así como el retardado descubrimiento del electrón positivo, se deben al hecho de que no puede existir por mucho tiempo en presencia de la materia; una vez formado, se une rápidamente con otro electrón de carga opuesta, mientras que ambos *se desvanecen* o, más exactamente, su masa se convierte por completo en la energía de radiación de alta frecuencia. La vida de los electrones positivos es extremadamente corta, siendo del orden de 10^{-8} segundo. Pero lo que es aún más importante es que estos fenómenos paradójicos son mucho menos extraordinarios que lo que se creía originalmente.

El desarrollo de la física nuclear de las últimas dos décadas ha mostrado que la existencia de las «partículas» de corta vida es una de las facetas más características de la radiación cósmica. Mientras que el número de las partículas descubierto se ha incrementado de una manera casi alarmante, su conducta difiere en dos aspectos fundamentales de las propiedades de los átomos newtonianos y daltonianos: *no son ni indestructibles ni increables.* Según la idea de Niels Bohr, que hoy se acepta generalmente, incluso la emisión de radiación beta, que se compone de electrones negativos, no debe ser concebida en el sentido clásico como una eyección de las partículas que *realmente preexisten dentro del núcleo,* sino que debe ser considerada como un proceso de creación, en el que las partículas son *creadas* durante su eyección, lo mismo que los fotones son creados mediante el proceso de emisión [13]. La idea expresada por Bialobrzeski hace aproximadamente un cuarto de siglo acerca de que las partículas dentro de los núcleos existen en un estado *potencial* más que real fue una anticipación filosófica correcta del presente estado de la física nuclear [14].

Pero si esto es así, ¿tiene algún sentido aplicar el término «corpúsculo» o «partícula» a entidades tan evasivas, cuya vida extremadamente corta se halla en ridículo contraste con la constancia y eternidad de los átomos clásicos? ¿No echamos vino nuevo en los viejos vasos si aplicamos un término con una con-

---

[13] N. Bohr, *Quantum d'action et noyaux atomiques*, Actualités Scientifiques et Industrielles, núm. 807 (París, 1939), p. 12; R. D. Evans, *op. cit.*, pp. 276-277.

[14] C. Bialobrzeski, "Sur l'interprétation concrète de la mécanique quantique", Revue de métaphysique et de morale, 41e année (1934), p. 97.

notación tan desorientadora a los neutrones que sólo duran media hora, a los electrones positivos que duran solamente 10^{-8} segundo, o a los mesones π neutros que no «viven» nada más que 10^{-14} segundo?[15]. ¿No es el término «suceso» mucho menos desorientador y ciertamente más adecuado para estas entidades casi instantáneas?.

Los siglos del acondicionamiento substancialista de nuestras mentes no se pueden eliminar de la noche a la mañana. Aunque el número de los físicos que toman literalmente el término «partícula» o «corpúsculo» decrece de manera continua, los diagramas en que las partículas son representadas como pequeños círculos se hallan todavía en los libros de texto de la física atómica. No hay nada que objetar acerca de tales ayudas visuales mientras no sean consideradas como verdaderas réplicas de la realidad microfísica. Pero es realmente grande la tentación a considerarlas así, por la simple razón de que la imaginación de los físicos sigue siendo intrínsecamente realista a pesar de sus declaraciones positivistas en sentido contrario. Una imagen visual de una pequeña esfera con un diminuto radio tendrá siempre un mayor atractivo para nuestro subconsciente a estilo de Demócrito que el término «suceso» aparentemente abstracto.

Desde el punto de vista adoptado en este libro, la sustitución del término «partícula» por «suceso» está justificada no sólo por la evidente insuficiencia empírica de aquélla, sino también porque parece que se implica lógicamente mediante nuestra discusión previa del concepto de espacio y tiempo. Si el espacio y el tiempo se fusionan en la unidad dinámica de tiempo-espacio, que a su vez se fusiona con su contenido físico concreto, o sea, la materia y la energía; si, además, hay evidencia substancial para el carácter pulsacional del tiempo-espacio, el carácter que la propia materia en virtud de fusión con el tiempo-espacio debe compartir, se hará menos paradójica la afirmación de que lo que solíamos llamar «partícula» es en verdad una serie de sucesos sucesivos. Veremos que incluso dentro de su corta vida la duración de los «corpúsculos» microfísicos, en vez de ser una duración indiferenciada y homogénea de tiempo newtoniano, se diferencia en sucesos sucesivos.

---

[15] Robert E. Marshak, "Elementary Particles", *Scientific American*, vol. 191 (1952); *Meson Physics* (McGraw-Hill, Nueva York), p. 141.

Al menos parece indicarlo así la mecánica ondulatoria que, como trataremos de demostrar, dio el último toque a la ruina del modelo cinético-corpuscular de la naturaleza. Pero antes de considerar esta nueva línea de hechos es indispensable indicar la transformación de otro concepto, íntimamente correlacionado con el concepto de materia corpuscular, o sea, la *transformación del concepto de movimiento.*

CAPITULO DECIMOQUINTO

La transformación del concepto de movimiento

Los «cambios» sustituyen a los «desplazamientos».

La mayor parte del contenido de este capítulo se halla implícita en nuestro análisis previo de los cambios a que estaba sometido el concepto de espacio y de corpúsculos materiales. Esto es apenas sorprendente si recordamos la definición clásica de movimiento como cambio continuo de las coordinadas espaciales de un cuerpo material (véase capítulo V). La definición de movimiento implica el concepto del sujeto invariable de movimiento, así como el de recipiente invariable de movimiento. En otras palabras, un cuerpo en movimiento sigue siendo idéntico en las posiciones sucesivas del camino a través del espacio igualmente invariable. Al mismo tiempo, la homogeneidad del espacio garantiza la continuidad del desplazamiento sin la cual sería imposible la identidad de una partícula en posiciones sucesivas.

Así, el concepto clásico de movimiento se basa en la trama íntimamente entrelazada de los siguientes conceptos:

1) El de entidades corpusculares substanciales que conservan su identidad a través del tiempo.
2) El de espacio que, mientras *contiene* corpúsculos materiales, sigue siendo *distinto* de ellos y no participa de su movimiento, permaneciendo siempre inmóvil e idéntico de por sí, según palabras de Newton.
3) El de tiempo homogéneo, cuya función con respecto a los movimientos es comparable a la función del espacio con respecto a los cuerpos; es un *receptáculo* invariable de movimientos, «espacio de movimiento», como dijo Barrow.
4) El de continuidad espaciotemporal de movimiento, que se deduce directamente de la homogeneidad tanto del espacio

como del tiempo, y que garantiza la posibilidad de identificar entidades corpusculares en diferentes puntos del espacio y en diferentes instantes del tiempo.

Ni un solo concepto de la línea precedente se ve libre de provocación en la física contemporánea; así es lógico esperar que la transformación del concepto clásico de movimiento no sea menos profunda que la de los conceptos en que se basa.

La noción clásica de corpúsculo en movimiento se basa en la distinción entre «lleno» y «vacío», o sea, entre materia y espacio. Sin esta distinción el propio concepto de movimiento sería disparatado; únicamente el hecho de que hay trozos de materia *en* ciertas regiones del espacio, sin ser éste idéntico a aquéllos, hace que sea inteligible el movimiento; únicamente la distinción entre materia y espacio hace posible que los trozos de materia *se separen* de las posiciones que ocupan temporalmente y que ocupen otras posiciones. Sin embargo, precisamente esta distinción se ve provocada por la teoría general de la relatividad. Entonces apenas debe asombrarnos si encontramos irreconocible el concepto de movimiento por la transformación que ha experimentado; por el contrario, debemos anticiparla como consecuencia inevitable de la fusión relativista de materia y espacio. Pero es interesante observar que rara vez se acentúa esta transformación implícita del concepto de movimiento. De lo que abundantemente oímos hablar es de la «relativización» del movimiento: simplemente otro término que denota la relativización del sistema de referencia. Pero este énfasis sobre la relatividad del ángulo de referencia apenas llega a la raíz del asunto; por el contrario, sería correcto afirmar que a Einstein se le anticiparon *plenamente* Descartes, Leibniz y Huygens, todos los cuales insistieron sobre la relatividad del movimiento. No obstante, a pesar de sus intuiciones proféticas ocasionales, sería ingenuo buscar siquiera una remota sombra de la fusión relativista de espacio y matéria en su pensamiento. En su idea cinético-corpuscular del universo no diferían de Gassendi y Newton.

Es fácil de comprender que no se llegara a observar el carácter revolucionario del cambio del concepto de movimiento. Junto con otros conceptos —espacio, tiempo, materia—, con los que se halla íntimamente ligado, el concepto de desplazamiento es una parte constitutiva del modelo cinético-corpuscular de la naturaleza. Después de dominar el pensamiento científico durante

tres siglos, se ha convertido en parte de nuestro subconsciente intelectual. Como resultado, no nos damos cuenta de que los términos «movimiento» y «desplazamiento» son totalmente inadecuados porque se hallan matizados de asociaciones clásicas desorientadoras. El uso continuado de estos términos es casi comparable a un síntoma psicoanalítico: indica la resistencia de nuestro subconsciente newtoniano a desviarnos de los hábitos tradicionales de pensamiento. Al mismo tiempo, estas palabras familiares, que aparecen en los libros de texto de la física moderna y relativista, crean naturalmente en la mayoría de los lectores la impresión errónea de que están pisando un terreno familiar. Nada es más natural que deducir de la familiaridad de una palabra la familiaridad del significado que se halla detrás de esa palabra. No obstante, algunos destacados filósofos de la ciencia se encontraban claramente conscientes del profundo cambio a que estaba sometido el concepto clásico de movimiento y que se halla oculto por el uso continuado de términos clásicos familiares. Allá por 1920 Hans Reichenbach manifestó claramente la implicación de la relatividad general en pro de nuestra idea del movimiento:

> El espacio está completamente lleno por el campo que define su métrica; lo que hasta ahora hemos llamado cuerpos materiales son únicamente las condensaciones de este campo. No tiene sentido hablar de un movimiento de partes materiales como un transporte de cosas; lo que tiene lugar es un proceso de condensación translativo comparable al movimiento de una onda en el agua. (La analogía es, desde luego, muy tosca, puesto que es habitual interpretar el «aparente» avance de la onda en el agua como oscilaciones «reales» de las partículas del agua. En realidad, no existen partículas separadas como portadoras del estado del campo...) El concepto de «una cosa individual» pierde su significado definido[1].

De una manera singularmente explícita, Reichenbach señaló que la crisis del concepto de *cosa* en la física amenaza igualmente

---

[1] H. Reichenbach, *Relativitätstheorie und Erkenntnis Apriori* (Braunschweig, 1920), p. 98.

(*) Das Raum ist ausgefüllt von dem Felde, das seine Metrik bestimmt; es sind nur die Verdichtungen dieses Feldes, was wir bisher als Materie betrachten. Es hat keinen Sinn, von einer Wanderung materiellen Teile als einem Transport von dingen zu reden; was stattfindet ist ein vorschreitende Verdichtungsprozess, der aber der Wanderung der Wasserwelle verglichen werden musst. (Allerdings nur als eine grobe Analogie, denn man pflegt sonst umgekehrt den "scheinbaren" Lauf einer Wasserwelle auf die "wirkliche" Hin-und Herbewegung der Wasserteilchen zurückzuführen. Einzelne Teilchen als Träger des Feldzustandes gibt es eben nicht. ...Der Begriff der Einzelding verliert jede Bestimmtheit.

al concepto clásico de movimiento; pues ¿qué es el movimiento sin una cosa que se desplace? En 1926 P. W. Bridgman señaló dificultades similares cuando se aplica a la luz el clásico «punto de vista de cosa que viaja»:

> Nos encontramos familiarizados con sólo dos tipos de cosa que viaja, un disturbio en un medio, y un objeto balístico semejante a un proyectil. Pero la luz no es como un disturbio en un medio, pues de otro modo encontraríamos una velocidad diferente cuando nos movemos con respecto al medio, y tal fenómeno no existe; ni es tampoco la luz como un proyectil, porque la velocidad de la luz con respecto al observador es independiente de la velocidad de la fuente [2].

Sin embargo, la razón decisiva por la que ni la materia ni la luz pueden ser consideradas como entidades o substancias que viajan moviéndose por el espacio no se ve formulada de una manera suficientemente explícita ni por Reichenbach ni por Bridgman. (Reichenbach se acerca más a ella, pero su comparación de una partícula material con una onda de agua viene a ser desorientadora a pesar de su advertencia de no tomarla en sentido literal; también sugiere vivamente la imagen de un disturbio que viaja *en* el medio etéreo *à la* Huygens o *à la* William Thomson.) Esta razón decisiva es precisamente la fusión relativista del espacio y su contenido físico en una sola entidad dinámica. Si utilizando la expresión de Meyerson, la materia se halla «reabsorbida» en el espacio (espacio-tiempo), la distinción entre el recipiente geométrico subyacente y su contenido físico variable desaparece; pero esta distinción era *la propia base* del concepto clásico de movimiento. Por consiguiente, el espacio ya no puede ser considerado como medio a manera de recipiente pasivo, totalmente indiferente a los cambios de su contenido físico. Como son confusos los límites entre la materia y el espacio circundante, el movimiento significa no sólo un desplazamiento de una partícula visible y aislada *en* el espacio, sino también un desplazamiento simultáneo de todo el complejo de los sutiles eslabones gravitatorios y electromagnéticos mediante los cuales una «partícula» tiene conexión con el resto del universo.

Este segundo «movimiento» invisible suele ser descartado porque no afecta a nuestros sentidos y carece de importancia para fines prácticos. Incluso cuando la física clásica reconocía que el

---

[2] P. W. BRIDGMAN, *The Logic of Modern Physics*, p. 164; también pp. 100-101.

movimiento de un cuerpo individual arrastra tras de sí a todo su medio circundante dinámico, o sea, su campo gravitatorio y electromagnético, siempre se acentuaba que el espacio geométrico subyacente, que se extendía debajo de todos estos movimientos complejos, permanece estático e indiferente a cualquier tipo de cambio. Todos los cambios que se producen en el medio circundante dinámico de un cuerpo en movimiento eran naturalmente interpretados por medio de modelos mecánicos y, en definitiva, corpusculares; la explicación de Maxwell acerca del magnetismo como remolino colateral producido en el éter por el desplazamiento lineal de las partículas etéreas es un ejemplo clásico de este tipo de explicación.

Pero en la teoría general de la relatividad no existe ese recipiente subyacente geométrico indiferente; la materia se convirtió en deformación local del medio espaciotemporal. Más exactamente, lo que llamábamos cuerpo material no es nada más que un *centro de esta deformación;* la propia deformación se extiende en todas las direcciones con intensidad decreciente, produciendo así el fenómeno de campos gravitatorios y, según Weyl, incluso electromagnéticos. Es natural que el movimiento del *centro* de esta deformación vaya acompañado del movimiento concomitante de *toda* la deformación.

En este punto se hace mucho más clara la insuficiencia del concepto tradicional de movimiento. Es incorrecto decir que una deformación espaciotemporal *se mueve en algo;* tal modo de hablar implicaría que una deformación espaciotemporal, o sea, el propio espacio-tiempo, se halla colocado en otro espacio, semejante a un recipiente, *con respecto al cual* tendría lugar su movimiento. Esto nos pondría en el camino de Zenón de Elea: nuestro espacio se halla localizado en otro espacio, que puede estar localizado en otro espacio, y así sucesivamente. Desde un punto de vista estrictamente matemático, no hay nada incorrecto en tal procedimiento: nuestro espacio no euclidiano puede estar localizado en el espacio euclidiano de cuatro dimensiones, que, a su vez, puede estar contenido en espacios de un número mayor de dimensiones. Pero desde el punto de vista epistemológico, tal materialización de las abstracciones matemáticas es altamente sospechosa, en particular si observamos que todo el procedimiento ha sido motivado por nuestro deseo inconsciente de salvar el concepto clásico de movimiento como *desplazamiento de algo con respecto a algo.*

¿Tiene algún sentido decir que el tiempo-espacio, o incluso sus partes, *se mueven en algo?* No existe la más ligera sombra de evidencia empírica para la existencia de tal hiperespacio imaginario; lo que se da empíricamente son desplazamientos relativos de varias regiones espaciotemporales, y lo que se sugiere por experiencia es la abolición de la distinción entre «lleno» y «vacío». Pero tan pronto como se abandona esta distinción, se hace inmediatamente obvia la transformación del concepto de movimiento. El movimiento ya no es un movimiento *en* algo, sino simplemente un movimiento. Además, como el concepto clásico de movimiento se halla indisolublemente sujeto a las imágenes visuales del desplazamiento espacial, sería menos desorientador no utilizar este término y sustituirlo por algún término más general y menos visual como *cambio*, *modificación* o *transformación*. Así podemos decir que lo que nuestra percepción registra como movimientos relativos de cuerpos no es, en verdad, nada más que desplazamientos mutuos de las modificaciones espaciotemporales locales. Si todavía postulamos un substrato espacial o hiperespacial para estas modificaciones espaciotemporales, solamente mostramos nuestra resistencia instintiva a desechar nuestra predilecta idea tradicional de espacio como recipiente inmóvil de todos los cambios.

El concepto de desplazamiento espacial es inaplicable no sólo a los cuerpos materiales, sino también a la energía. Bridgman manifestó claramente la inaplicabilidad del concepto de desplazamiento espacial a la energía electromagnética; pero su declaración tiene un significado mucho más general, pues se aplica a *cualquier* transporte de energía. Esto es comprensible desde el punto de vista relativista, para el que la distinción entre materia y energía ha perdido su original contraste. Incluso la energía electromagnética tiene su masa inercial y gravitatoria, como muestran claramente los hechos de presión de radiación y deflexión de la luz en fuertes campos gravitatorios. Según la teoría general, la masa inercial y gravitatoria son meramente dos aspectos de un mismo fenómeno, que es inseparable de ciertas modificaciones peculiares del tiempo-espacio. Este es el significado de la «geometrización» de la materia y su campo inercial y gravitatorio en la teoría general. ¿Se debe aplicar tal geometrización incluso a la masa inercial y gravitatoria asociada con la energía electromagnética? La creencia de que se debe hacer esto era y es todavía el motivo inspirador de todas las denominadas «teorías de campo

unitario»: incorporar *todos* los campos energéticos (no simplemente los campos gravitatorios e inerciales) en una multiplicidad dinámica compleja del tiempo-espacio. Serias dificultades, tanto matemáticas como empíricas, con que se han enfrentado varias teorías de campo en su detallada elaboración han obscurecido de cierta manera la solidez básica de su motivo subyacente. Es difícil ver cómo la distinción entre «lleno» y «vacío», que se vio tan radicalmente en entredicho con respecto a la relación de la materia con el tiempo, se puede mantener como base para diferenciar al espacio de su contenido energético.

Una vez quede entendido esto, también quedará entendido que la luz no puede ser considerada ni como partículas diminutas, lanzadas de la fuente de luz en todas las direcciones, como imaginaba Newton, ni como partículas de éter transversalmente vibrantes como creían Fresnel y los físicos del siglo XIX: en cualquiera de estas dos teorías clásicas, el movimiento de la luz era imaginado como un desplazamiento de alguna substancia sólida (por pequeña que sea) en un recipiente estático y pasivo del espacio, que no toma parte en ningún cambio. Pero la separación del espacio respecto de su contenido *energético* es tan ilegítima como la del espacio respecto de la materia. Así ni las masas ni los *quanta* de luz pueden ser considerados como *cosas que viajan por el espacio;* tanto la materia como la radiación son meramente modificaciones del tiempo-espacio, siendo la radiación probablemente de un tipo menos complejo que la materia; y es totalmente disparatado hablar de *movimiento de tiempo-espacio* a menos que recurramos a un ingenio muy discutible de colocar el tiempo-espacio en un *continuum* hipostatizado de cinco dimensiones.

Resulta asombroso que todas las facetas esenciales de la idea moderna concerniente a la relación entre el espacio, la materia y el movimiento fueron proféticamente anticipadas por W. K. Clifford allá por 1876 en su poco conocido ensayo *On the Space Theory of Matter* [3]. Esta hipótesis, anticipando la teoría general de la relatividad, se hallaba expuesta en cuatro puntos principales: 1) Las pequeñas porciones del espacio son comparables a pequeñas colinas en una superficie que es, en general, llana; las leyes ordinarias de la geometría no son válidas en ellas. 2) Las distorsiones espaciales se propagan como lo hacen las ondas. 3) Esta variación de la curvatura del espacio sucede real-

---

[3] *Proceedings of Cambridge Philosophical Society,* II (1876), pp. 157-158.

mente en el fenómeno del *movimiento*, ya sea ponderable o etéreo. 4) En el mundo físico no sucede nada más que esta variación.

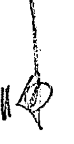
Apenas habría sido posible anticipar de manera más explícita la revisión de la distinción entre el vacío y la materia, así como la transformación del concepto de movimiento. A juicio de Clifford, el fenómeno del movimiento se reduce a una *variación de la curvatura espacial*. Lo que la física clásica consideraba como desplazamiento de alguna cantidad substancial de materia a través de un medio geométrico estático y físicamente inactivo es, según Clifford, anticipándose a Einstein, simplemente un cambio de una distorsión local del espacio, no con respecto a un recipiente geométrico subyacente, sino *con respecto a otras distorsiones locales*.

Incluso la expresión «cambio de distorsión local» puede ser desorientadora, pues puede sugerir un desplazamiento de alguna entidad substancial a través del espacio; esto nos llevaría de nuevo a la antigua idea de movimiento. ¡Nunca serán suficientes nuestras precauciones contra las escurridizas connotaciones clásicas! Reichenbach, en el pasaje citado en la página 260, manifestaba que un cambio de distorsión local, en vez de ser un transporte de algo substancial a través del espacio, es comparable más bien a un movimiento de una onda en el agua, siempre que evitemos cualquier intento de reducir este movimiento ondulatorio al desplazamiento vibratorio de partículas de éter substanciales. Pues, como veía claramente Clifford, incluso el «movimiento etéreo» debe ser interpretado del mismo modo que el movimiento de «cuerpos ponderables». Por esta razón, es menos desorientador decir que, en vez de *variarse* la distorsión local, *se cambia* la curvatura espacial en cierta región; y este cambio de la curvatura local es lo que nuestra percepción registra como desplazamiento de un cuerpo material.

Cuando hacemos un esfuerzo para desviarnos de las ideas tradicionales hondamente arraigadas es difícil evitar un análisis más detallado, aun cuando tal análisis parezca tedioso y excesivamente superexplícito. ¿Qué sucede realmente, según la teoría general de la relatividad, cuando un cuerpo físico cambia de posición? Nada más que en una sola región desaparece una distorsión espacial o al menos se reduce, mientras que aparece en la región vecina, que era originalmente más o menos «llana». (No podría ser enteramente «llana» en virtud de la presencia del campo gra-

vitatorio, cuya curvatura, en la ilustración de Clifford, difiere únicamente en grado de la distorsión que constituye el propio cuerpo material.) Así lo que la física clásica consideraba como movimiento de un cuerpo de un lugar a otro se describe en términos relativistas como *transformación intrínseca* de ambos lugares adyacentes.

Y no se limita esta transformación a esa región del espacio en que está presente el «cuerpo material». Las pequeñas colinas no euclidianas de Clifford se deslizan gradualmente hasta las regiones circundantes; sus campos gravitatorios y electrostáticos penetran no sólo en sus regiones vecinas, sino en áreas muy remotas del espacio cósmico. Esto fue ya plenamente observado por Faraday. Anticipándose a la crítica de Whitehead acerca de la «falacia de la localización simple», afirmó que cada átomo es virtualmente ubicuo, porque se extiende, por decirlo así, a través de todo el sistema solar, pero reteniendo siempre su centro de fuerza [4]. Como hemos mencionado anteriormente, el desplazamiento de tal átomo significa un desplazamiento *de todo el campo de fuerza* que lo rodea, y porque el propio desplazamiento es ahora considerado como transformación intrínseca de cierta región espaciotemporal que no se puede delimitar claramente del más amplio contexto espaciotemporal, significa que lo que era concebido como desplazamiento de una cantidad de materia en el espacio es en verdad una transformación de una considerable porción del universo.



Esto fue anticipado por Bergson en una época en que apenas habían empezado a aparecer los primeros signos de la revolución contemporánea de la física. Escribió en 1896:

> El cambio está en todas partes, menos por dentro; lo localizamos aquí y allá, pero por fuera; y así constituimos cuerpos que son estables con respecto a sus cualidades y móviles con respecto a sus posiciones, un simple cambio de lugar resumiendo en sí, a nuestros ojos, la transformación universal.



De manera análoga, Whitehead:

> En cierto sentido, todo está en todas partes en todo momento. Pues toda localización implica un aspecto de sí misma en toda otra localización. Así todo punto de vista espaciotemporal refleja el mundo [5].

---

[4] Compárese capítulo VII de esta obra, nota 9.

[5] H. Bergson, *Matière et mémoire*, p. 233; A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, p. 133.

El término «transformación universal» no debe ser entendido en el sentido de «transformación universal *instantánea*». Decir que una distorsión espaciotemporal, constituyendo la esencia de una partícula física, se extiende por todo el universo es utilizar una metáfora que no debe ser tomada literalmente. Esta extensión es un *proceso que consume tiempo* y puede ser considerada como prácticamente instantánea sólo para las inmediaciones a escala planetaria. Los cambios en los campos gravitatorios y electromagnéticos se extienden con una velocidad finita, y por esta razón no pueden ser considerados como penetrando en *todo* el universo. Además, ¿hasta qué punto el concepto de totalidad del universo sigue teniendo sentido después de la negación de la simultaneidad absoluta de sucesos distantes? Hemos visto que el término «mundo en un instante» o «instante universal» carece de sentido, porque requiere la existencia de conexiones geométricas instantáneas rechazada por la física relativista. Así, para que el movimiento de una partícula sea una transformación *simultánea* de todo el universo sería menester una conexión *rígida* de un centro de la deformación espaciotemporal con la deformación en sí; sólo entonces sería posible una transformación instantánea. Pero esto es claramente incompatible tanto con el espíritu como con la letra de la física relativista [6]. En este respecto, la idea de Faraday acerca de que cada átomo penetra en todo el sistema solar es más correcta y se halla más de acuerdo con la relatividad que la afirmación de Bergson acerca de que un movimiento de una partícula significa una transformación de *todo* el universo.

Pero, aparte de esta limitación, la declaración de Bergson era esencialmente correcta al anticipar una implicación de la relatividad general: *la retirada del concepto de desplazamiento antes que la de transformación cualitativa.* ¿Significa esto que la física contemporánea retorna mediante un rodeo al concepto aristotélico de movimiento? Esto es verdad hasta cierto punto, y Hermann Weyl no dejó de observar la afinidad entre la teoría de campo moderna y el concepto aristotélico de movimiento [7]. Todo movimiento, incluyendo un simple movimiento en el espacio, es, según Aristóteles, un proceso interno, una transformación cuali-

[6] P. LANGEVIN, *Bulletin de la Société française de philosophie*, séance de 19 octobre 1911, pp. 23-24.

[7] H. WEYL, *Was ist Materie?*, pp. 43-44.

tativa, *alloiösis*. Incluso el movimiento de un cuerpo que cae libremente no es un simple desplazamiento de una entidad inmutable, sino un cambio interno; pues una piedra no se convierte en una piedra verdadera hasta que llega a su lugar natural. Así incluso un desplazamiento espacial es una transformación cualitativa interna. En el análisis anterior del concepto moderno de partícula hemos visto que no hay nada autoidéntico o inmutablemente duradero en lo que continuamos llamando «partícula» o «corpúsculo»; y en el capítulo siguiente trataremos de demostrar que la propia esencia de una partícula está constituida por cambio, proceso, sucesos. Esto puede justificarse también mediante consideraciones relativistas: varias distorsiones espaciotemporales se superponen y cada una de ellas se halla continuamente sujeta a las modificaciones que en forma de ondas gravitatorias o electromagnéticas vienen de regiones distantes del tiempo-espacio.

Sin embargo, aquí termina la similitud entre la teoría de campo moderna y la física aristotélica. No es preciso decir que hay diferencias importantes. Cuando Weyl señaló que la teoría general de la relatividad representa en cierto sentido un retorno a la idea aristotélica de «lugar natural», se olvidó de manifestar específicamente los límites de esta analogía. Es verdad que el espacio relativista es heterogéneo como el espacio aristotélico, correspondiendo su diferente curvatura local con las diferencias cualitativas de los «lugares naturales» de Aristóteles. Pero mientras que el espacio de Aristóteles se halla rígidamente estratificado, su diferenciación cualitativa en cinco zonas concéntricas sigue siendo siempre idéntica, el tiempo-espacio de la relatividad general cambia continuamente. No sólo no hay ángulos de referencia privilegiados comparables a la tierra o las esferas celestiales en el sistema de Aristóteles, sino que también la región espaciotemporal se modifica continuamente por el impacto de sus inmediaciones cósmicas. Así, a pesar de cierto color aristotélico de la física moderna, sería absurdo hablar de «retorno» a la física aristotélica o a la metafísica. No hay simples retornos en el desarrollo de la ciencia; es verdad que puede haber regresiones ocasionales o retrocesos, pero esto sucede únicamente si las circunstancias externas interfieren en su libre desarrollo.

También se puede objetar que es incorrecto hablar de una diversificación cualitativa del espacio o su transformación cualitativa. La única diversidad que la teoría general de la relatividad admite es la de *diferencias cuantitativas de constante espacial;*

de forma análoga, todo cambio físico se reduce a cambio de la curvatura espaciotemporal. Sin embargo, esto no debe engañarnos. Para la física clásica el espacio y el tiempo eran ambos homogéneos; pero ahora *se niega* tal homogeneidad. Es cierto que la heterogeneidad del espacio y el tiempo, admitida por la física moderna, es hipotéticamente de un tipo cuantitativo, o al menos se expresa así: la física matemática no puede proceder de otro modo. Pero las diferencias entre varias regiones de un campo gravitatorio, y, en particular, las diferencias entre el propio campo y su centro, son *diferencias dinámicas reales* que deben ser denominadas cualitativas. La física clásica reconocía sólo *una* distinción cualitativa: la que existe entre el espacio y la materia. Todas las regiones del espacio eran cualitativamente idénticas, o sea, homogéneas; de igual modo, todos los trozos de materia carecían de diferencia cualitativa. Esta única distinción cualitativa, admitida por la física clásica, se ve ahora anulada.

Superficialmente, esto parecería un triunfo completo de una idea universal cuantitativa, como terminación del proceso mediante el cual se geometrizó la materia; ésta, como hemos visto, era la interpretación de Meyerson, de Bergson y de Cassirer. Pero hemos tratado de señalar las deficiencias de esta interpretación. Si la materia se geometrizó fue únicamente porque el espacio *se dinamizó* y se negó su homogeneidad; si la materia fue «reabsorbida» en el espacio, fue únicamente porque el espacio se fusionó con el tiempo en un todo individual dinámico diversificado. Todavía podemos afirmar que esta diversificación es de un tipo «puramente cuantitativo»; pero hacer esto significaría equivocar los términos de ecuaciones tensoriales con entidades físicas reales y confundir simples *símbolos* con sucesos físicos concretos diferenciados. Después de todo, como Hirn había observado ya en el pasado siglo, «el mundo no son unas matemáticas», al menos mientras no retornemos a alguna especie de neopitagorismo (del que parecen estar peligrosamente cerca algunos neokantianos). La cuestión de qué entendemos por la expresión «cualidad física» será tratada en el capítulo XVIII de este libro. Aquí es suficiente decir que, en contraste con el espacio y el tiempo clásicos, el tiempo-espacio relativista es intrínsecamente diversificado en sus diferentes partes; aunque estas diferencias se ven expresadas por símbolos matemáticos, corresponden con diferencias y cambios físicos muy reales que se hallaban ausentes en el cua-

dro universal clásico; por último, *no* es desorientador calificar de cualitativos a estas diferencias y cambios.

La pista del dilema de «cambio cualitativo frente a desplazamiento espacial» se puede seguir hasta los propios albores del pensamiento occidental. Primero fue representado por la oposición entre Demócrito y Heráclito. Aristóteles, cuando se opuso al atomismo, y con ello también al concepto de desplazamiento espacial, seguía a Heráclito, a quien Weyl consideraba correctamente como fundador de la tradición antimecanicista y antiatomística en la filosofía [8]. Así sería más correcto hablar de que la física contemporánea se ve matizada por *Heráclito* más que por Aristóteles. Después de Galileo y Newton, retrocedió esta trayectoria antimecanicista, pero sin desaparecer por completo. En su estudio histórico del concepto de movimiento Ludwig Lange enumera tres posibles ideas de movimiento [9]. El movimiento es considerado: 1) como cambio de posición con respecto al espacio absoluto, o 2) como cambio de posición con respecto a algún cuerpo material, o 3) como signo externo *(äussere Erfolg)* de algún cambio interno que ocurre dentro de un cuerpo en movimiento. Newton y todos sus seguidores pertenecen a la primera categoría; Leibniz, como físico, y Huygens, pertenecen a la segunda; mientras que Leibniz, metafísico, seguido en este respecto por Lotze, Clifford y Bergson, representa la tercera idea.

Lo mismo que Leibniz, los relativistas modernos oscilan entre la segunda y la tercera categoría, pero en general se inclinan hacia la segunda categoría: el movimiento definido como cambio de posición con respecto a algún cuerpo físico. La deficiencia de esta idea se debe a la falta de observar que en la teoría general *se duda de la propia individualidad de los cuerpos físicos*, y con ello del carácter definido de un ángulo de referencia físico. Tan pronto como se observa esto, se adopta la tercera idea, al menos implícitamente. Así cuando Reichenbach trata de los campos gravitatorios generales, que en el lenguaje de la geometría de Riemann se caracterizan por tensores local y temporalmente variables, los compara explícitamente con el mundo del eterno lapso de Heráclito, πάντα ῥεῖ [10]. Tal es el mundo físico real. Los cam-

---

[8] WEYL, *ibid.* Según Weyl, la tradición antiatomística se caracteriza por los siguientes nombres: Heráclito-Anaxágoras-Arquitas-Platón.

[9] L. LANGE, "*Die geschichtliche Entwicklung des Bewegungsbegriffs*", Philos. Studien., III (1886), p. 340.

[10] H. REICHENBACH, *Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, p. 302.

pos gravitatorios estacionarios son simplemente aproximaciones ideales; sólo los campos generales son físicamente reales. En tal mundo, el movimiento debe ser considerado, según palabras de Bergson, como «transferencia de un estado más que de una cosa» [11].

La sustitución del concepto de desplazamiento por el de cambio se hace menos paradójica si recordamos la fusión del espacio con el tiempo, y también que esta fusión, como hemos visto, no es enteramente simétrica porque, mientras que es enteramente incorrecto considerarla como espacialización de tiempo, es adecuado denominarla dinamización de espacio. Puesto que el propio espacio adquiere un carácter a manera de proceso, la fusión de la materia con el tiempo-espacio significa que el cambio *no* se limita al cambio de posición únicamente, sino que afecta igualmente a las dos entidades que la física clásica consideraba como invariables: el recipiente geométrico del movimiento y el vehículo material del movimiento. En el capítulo XIV consideramos este último punto, pero más bien en su forma negativa: tratamos de demostrar cómo las nuevas «partículas» de la física moderna no pueden ser consideradas como entidades substanciales. Ahora vamos a abordar el mismo tema de manera más positiva a fin de demostrar hasta qué punto la materia adquiere el carácter de proceso dinámico y cómo las partículas clásicas han sido sustituidas por series de sucesos sucesivos.

Los sucesos sustituyen a las partículas.

En su excelente resumen de los principios que subyacen en la física clásica, J. B. Stallo señaló que la masa y el movimiento eran considerados como mutuamente inconvertibles [12]. Esta era la razón por la que la masa era considerada como constante, o sea, independiente de su velocidad; las partículas elementales, ya estuviesen en reposo o en movimiento, y sin que importara la velocidad con que se moviesen, permanecían siempre idénticas en su masa, volumen y forma. Esta era también la base del carácter *esencialmente pasivo* de la materia clásica; ningún movimiento podía surgir nunca de la propia materia, mientras que,

---

[11] H. Bergson, *op. cit.*, p. 225.
[12] J. B. Stallo, *The Concepts and Theories of Modern Physics*, pp. 27, 66.

a la inversa, la materia seguía siendo eternamente impenetrable a cualquier cantidad de movimiento que se le infundiera. Hemos visto que la más grave objeción contra la teoría Boscovich-Kant era precisamente que suponía que el movimiento surgía misteriosamente de la propia naturaleza de las masas semejantes a puntos.

Las denominadas «características dinámicas» de la materia clásica se debían exclusivamente al hecho de que las *masas estaban dotadas de movimiento;* todos los efectos dinámicos eran así atribuibles a las masas como tales, pero no a las masas *ya en movimiento.* Esta era la propia esencia de todas las explicaciones cinéticas. Pero en todos los ejemplos la relación de la materia con el movimiento seguía siendo puramente externa. Aunque cualquier cantidad de materia podía asociarse con cualquier cantidad de movimiento, no se consideraba posible ninguna conversión de una en otra. Así la ley de conservación de la materia y la ley de conservación de momento seguían siendo *dos leyes distintas;* la cantidad total de materia, ya de una sola partícula o de un todo agregado de partículas, permanecía enteramente sin ser afectada por ningún cambio de velocidad que se le infundiera. Esta era la razón por la que era posible hablar únicamente del *movimiento de la materia,* nunca del movimiento *en* la materia. La segunda expresión habría parecido irracional y disparatada: implicaría la variabilidad de la propia substancia material. Así, en el cuadro clásico, el movimiento, aunque invariablemente asociado con la materia, retenía su independencia de ella. La formación del concepto de momento (como producto de masa y velocidad) obscurecía, pero no eliminaba esta independencia; la cantidad de la propia masa nunca afectaba a su propia velocidad, excepto de una manera indirecta, o sea, modificando las fuerzas que actuaban sobre ella; y el cambio de velocidad nunca modificaba la masa de un cuerpo en movimiento.

La teoría especial de la relatividad terminó con esta separación: la masa se convirtió en función de velocidad. Sigue siendo muy aproximadamente constante sólo cuando el movimiento correspondiente es relativamente lento; pero su constancia desaparece en velocidades que no son despreciables en comparación con la velocidad de la luz. Este es uno de los aspectos de la identificación relativista de masa y energía; toda forma de energía, incluyendo la energía de movimiento, tiene su efecto de masa y, por tanto, debe modificar la masa inercial total. Así la ley de

conservación de masa y la ley de conservación de energía se fusionan en una ley más comprehensiva, en la que la masa-energía es constante. El incremento de masa no es *creatio ex nihilo*, porque el incremento correspondiente de masa preexistía, por decirlo así, en una cantidad de energía cinética añadida a una partícula desde fuera.

Aunque esta fusión de las dos leyes originalmente independientes en una sola ley hace que sea intelectualmente más agradable la paradoja de masa variable, viene a obscurecer su tremendo significado revolucionario. Pues no hay duda de que la fórmula de Einstein para la dependencia de la masa respecto de la velocidad acaba con otra básica distinción clásica: la que existe *entre la materia y el movimiento*, o, si creemos que algunas distinciones filosóficas constituyen una excrecencia inconsciente de las distinciones hechas originalmente a nivel físico, la distinción entre *substancia y cambio*, o *ser y transformación*.

Esto se hace aún más conspicuo en el desarrollo de la mecánica ondulatoria. Si quedaban esperanzas de retener el concepto clásico de partícula inmutable, a la que exteriormente se puede infundir movimiento, por decirlo así, como un caballo a un vehículo, el desarrollo ulterior de la teoría cuántica las deshizo totalmente. Esta fase de la teoría cuántica, conocida por el nombre de mecánica ondulatoria, sintetizaba de una manera original las ideas de Planck y las de Einstein. La teoría cuántica clásica afirmaba la atomicidad de la *acción*, o sea, del producto de energía y tiempo. En contra de la versión popular que se oye frecuentemente, la teoría cuántica NO ha afirmado la atomicidad de la energía, excepto en un sentido muy especial. Es cierto que para la energía en cualquier frecuencia dada sólo pueden existir múltiplos enteros del *quantum* mínimo hf ($h =$ constante de acción de Planck, $f =$ frecuencia): $2hf$, $3hf$, ..., nhf. Pero como se suponía que la propia frecuencia variaba continuamente, no había «átomos de energía» universales de igual magnitud en el mismo sentido que tenemos los átomos de electricidad.

Si insistimos en hablar de la estructura atómica de la energía, tenemos que tener presente que el supuesto atomismo de energía puede compararse al «atomismo cualitativo» de Dalton del pasado siglo: lo mismo que cada elemento químico se compone de sus propios átomos, así a cada frecuencia particular de radiación corresponden «átomos de radiación» específicos. Por otra parte, una cosa siempre permanece constante en las reacciones ener-

géticas microfísicas: el producto de energía y el correspondiente intervalo de tiempo. Este producto es siempre igual a la constante universal h de Planck. Es una de ciertas cantidades que siguen siendo invariantes en diferentes sistemas de inercia, y su presencia es responsable de casi todos los aspectos paradójicos de los sucesos microfísicos.

Originalmente se creía que la constante h pertenecía únicamente al reino de la radiación; pero gradualmente la cuantización en el sentido explicado anteriormente se extendió incluso a la energía mecánica de las partículas microfísicas. Además de la históricamente famosa cuantización de las órbitas electrónicas de Bohr, es importante no pasar por alto los inesperados triunfos de la teoría cuántica en el área en que la idea cinético-corpuscular de la física clásica parecía estar establecida más allá de toda duda: la teoría cinética de la materia. Así algunas discrepancias concernientes al calor específico de ciertos gases fueron explicadas por Einstein (cuyas contribuciones a la teoría cuántica quedaron obscurecidas por la fama de su propia teoría de la relatividad) mediante la hipótesis de que la energía mecánica de las moléculas vibrantes sólo pueden variar *de manera discontinua* [13]. De forma análoga, la ausencia de rotación de las moléculas de los gases monoatómicos fue explicada como otra consecuencia de la teoría cuántica: la energía del movimiento traslatorio de las moléculas gaseosas es *demasiado pequeña* para comunicar la cantidad de energía mínima necesaria para sus rotaciones [14]. Esta inesperada validez universal de la ecuación de Planck para la energía mecánica de las partículas microfísicas fue el primer indicio de la vaguedad del límite entre la materia y la radiación.

Además, según la teoría especial de la relatividad, el concepto de energía era considerablemente más amplio que en la física clásica. Toda partícula material, aun cuando por medio de una adecuada elección de ángulo de referencia es hecha como completamente desprovista de energía cinética, todavía posee alguna «energía interna», que no tenía réplica en la física clásica. Es verdad que de una forma vaga y cualitativa Leibniz y Spencer

---

[13] W. PAULI, "Einstein's Contributions to Quantum Theory", en *Albert Einstein: Philosopher and Scientist*, pp. 149-158, especialmente 153-156; MAX BORN, "Einstein's Statistical Theories", el mismo volumen, pp. 163-177, especialmente p. 169; JEAN PERRIN, *Les Atomes*, 2.ª ed. (París, 1927), pp. 100-105.

[14] J. PERRIN, *op. cit.*, pp. 105-107.

se acercaron a esta energización de la materia cuando insistieron en que incluso la denominada «impenetrabilidad» (ἀντιτυπία de Leibniz) es de naturaleza dinámica. Pero ninguno de ellos sospechó su tremenda cantidad, determinada por el producto de la masa y el cuadrado de la velocidad de la luz. Tampoco ninguno de ellos pudo sospechar, ni siquiera remotamente, las implicaciones revolucionarias de la energetización relativista de la materia. Lo mismo que la ecuación $E = hf$ de Planck, la ecuación $E = mc^2$ de Einstein ha sido hallada universalmente válida en todas las áreas de la física. Pero si toda energía es cuantizada, la cuantización debe aplicarse igualmente incluso a la *energía interna* asociada con la masa inercial de una partícula. Esto es precisamente lo que se obtiene combinando las dos ecuaciones en una, que es una ecuación básica de la mecánica ondulatoria:

$$mc^2 = hf$$

Esto conduce al resultado paradójico de que *toda* energía, incluyendo la «energía interna» de la masa, debe tener un carácter vibratorio. Así la frecuencia de las vibraciones asociadas con la masa inercial del electrón es $1{,}24 \times 10^{20}$ por segundo, mientras que para protones más pesados la duración de una sola vibración asociada es del orden de 10^{-23} segundo, aproximándose bastante al valor hipotético del cronon.

Resumiendo: mientras que Planck asignaba un carácter corpuscular a la radiación, que previamente había sido concebida en términos puramente ondulatorios, Louis de Broglie atribuía un carácter vibratorio a la materia, que, hasta su época, siempre había sido considerada como hecha de partículas. (En este contexto es de importancia secundaria la cuestión de si estas partículas estaban dotadas de cierto pequeño volumen, como en el atomismo clásico y moderno, o si eran consideradas como puntos materiales sin dimensiones espaciales.)

La posibilidad de interpretar estas «ondas materiales» *(Materiewellen, ondes matérielles)* en un sentido concreto, o sea, como disturbios que tienen lugar dentro de un medio material, es tan limitada como la de interpretar los «corpúsculos de la luz» o «fotones» en el sentido de la antigua teoría de emisión de Newton. De nuevo somos testigos de que no hay simples retornos en el desarrollo de la ciencia. Los intentos de interpretar el carácter ondulatorio de la materia en un sentido mecánico y pictórico ape-

nas son algo más que síntomas psicológicos que indican la tenacidad de nuestros hábitos mentales heredados. Por esta razón no se hará ningún intento de describir con detalle este último fracaso del éter mecánicamente concebido en la física; será suficiente un breve y conciso resumen.

Sin embargo, era muy natural que al aparecer la mecánica ondulatoria hubiese una gran tentación de interpretar las ondas hipotéticas asociadas con las partículas materiales en un sentido concreto y casi visual. Parecía enteramente lógico coincidir con Arthur Compton en que si, había ondas, debía haber *ondas de algo*[15]. La cuestión de qué es este *algo* misterioso era enteramente análoga a la cuestión con que se enfrentaron los físicos del siglo XIX cuando sintieron curiosidad acerca del substrato de las vibraciones luminosas y electromagnéticas. Aun si olvidamos por un momento todas las dificultades inherentes en la idea clásica del éter, está claro que la aplicación de una idea similar a la mecánica ondulatoria se enfrenta con dificultades aún mayores. De las relaciones fundamentales de De Broglie se deduce primero que la velocidad de las ondas hipotéticas debe ser *mayor* que la velocidad de la luz; segundo, que las ondas de varias longitudes deben moverse con diferentes velocidades, moviéndose más rápidamente las más largas. El primer requisito parecía ciertamente extraño a la luz de la teoría de la relatividad, mientras que el segundo contradecía a la idea clásica del éter como medio no dispersivo.

Ambas dificultades, sin embargo, eran únicamente aparentes. La primera fue eliminada por una aplicación ingenua del principio clásico de Rayleigh, que diferencia entre la *velocidad de fase* y la *velocidad de grupo:* una partícula material individual se halla asociada, no con una onda individual, sino con *toda una serie de ondas de diferentes frecuencias* que en su superposición forman un denominado *paquete de ondas*. Fue agradable descubrir que de la teoría se deducía que la velocidad de tales paquetes de ondas coincide con la de las partículas materiales asociadas. La masa y la energía de las partículas se hallan asociadas con paquetes de ondas, no con las ondas «hiperluminosas» individuales que no llevan masa ni en el sentido clásico ni en el relativista. Así no se ve violado el requisito relativista de que la ve-

---

[15] *Electrons et photons. Rapports et discussions.* Institute International de Physique Solvay (París, 1928), pp. 86-87.

locidad luminosa debe ser la máxima velocidad posible para todas las masas.

La segunda dificultad concerniente a las diferentes velocidades de las ondas hiperluminosas constitutivas parece muy grave a la luz del bien establecido hecho de que la velocidad de todas las vibraciones etéreas es constante y no depende de sus frecuencias. Pero incluso esta dificultad puede quedar eliminada de dos modos: asignando a las ondas hiperluminosas otro medio, el denominado «subéter», que, al contrario que el éter electromagnético clásico, es un medio altamente dispersivo; o postulando, como era posible, una diferente conducta del mismo éter con respecto a diferentes frecuencias. En otras palabras, mientras que el éter para vibraciones relativamente lentas se conduce como un radio no dispersivo, para vibraciones más rápidas adquiere las propiedades de un medio altamente dispersivo. El segundo modo era ciertamente más atractivo para los que respetan la regla de Occam; es ciertamente más económico postular un substrato individual, en vez de varios, para diferentes vibraciones. Además, la segunda explicación tenía algunas analogías clásicas interesantes: el éter universal aparentemente cambia sus propiedades muy a la manera de como cambian súbitamente las propiedades del gas a ciertos valores críticos de presión y temperatura. Para cierta gama de frecuencias, extendiéndose desde las ondas electromagnéticas hasta los rayos gamma, el éter se conduce como un medio completamente no dispersivo; todas las longitudes de ondas viajan con la misma velocidad. Pero para vibraciones más rápidas, cuya superposición constituye lo que solíamos llamar «partícula material», el éter adquiere las propiedades de un medio supradispersivo, análogo a algunas substancias macroscópicas altamente dispersivas; las correspondientes vibraciones se propagan con una velocidad directamente proporcional a sus frecuencias. Además, todas estas vibraciones se propagan con una velocidad mayor que la velocidad de las ondas electromagnéticas. J. J. Thomson señaló una interesante analogía macroscópica con este fenómeno en la conducta de la capa de Heaviside en las regiones superiores de la atmósfera, donde gases enrarecidos residuales son fuertemente ionizados por la radiación solar. Esta región se conduce ópticamente como el modelo de éter anteriormente postulado [16]. Tal modelo del éter se halla en línea con el famoso intento de

[16] J. J. Thomson, *Beyond the Electron*, pp. 14-21.

Stokes de explicar algunas propiedades aparentemente contradictorias del éter, y guarda cierta similitud con la explicación mecánica de Fournier d'Albe y Karl Jellinek acerca del carácter límite de la velocidad de la luz.

Una faceta común a todos estos intentos es una ilimitada confianza en la fructuosidad de los modelos mecánicos clásicos. El caso de J. J. Thomson es particularmente instructivo; desde su premiado estudio sobre los movimientos de vórtices [17] a uno de los últimos libros acerca de la estructura del electrón, es verdaderamente impresionante la continuidad de su pensamiento y lealtad a la misma idea cinético-corpuscular de la naturaleza. Las primeras interpretaciones de la mecánica ondulatoria de Louis de Broglie y Erwin Schrödinger eran precisamente a lo largo de las mismas líneas. En 1925 Eddington resumió la teoría original de Schrödinger en los siguientes términos:

> Imaginemos un subéter cuya superficie esté cubierta de ondas. Las oscilaciones de las ondas son un millón de veces más rápidas que las de la luz visible: demasiado rápidas para caer dentro del alcance de nuestra burda experiencia. Las ondas individuales están más allá de nuestra percepción visual; lo que podemos apreciar es un efecto combinado, cuando mediante convergencia o coalescencia las ondas conspiran para crear un área perturbada de gran extensión en comparación con las ondas individuales, pero pequeña desde nuestro propio punto de vista brobdingnagiano. Tal área perturbada es reconocida como una partícula material; en particular puede ser un electrón. El subéter es un medio dispersivo, o sea, las ondas no viajan con la misma velocidad; lo mismo que las ondas del agua, su velocidad depende de su longitud o período de onda. Las de período más corto viajan más rápidamente. Además, la velocidad puede verse modificada por condiciones locales. Esta modificación es una réplica en la teoría de Schrödinger acerca de un campo de fuerza en la física clásica [18].

Era necesario prestar una considerable atención a esta teoría antes de señalar sus dificultades tanto intrínsecas como empíricas. Es evidente que una teoría de este género es una nueva edición del modelo hidrodinámico clásico del éter, cuyas raíces pueden encontrarse en la física cartesiana del siglo XVII. Tiene dos características conspicuas del pensamiento cartesiano-kelviniano: 1) la explicación de toda acción a distancia por medio de un

---

[17] J. J. Thomson, *A Treatise on the Motion of Vortex Rings* (Cambridge University Press, 1883).

[18] A. E. Eddington, *The Nature of the Physical World*, p. 211.

medio material hipotético y 2) la explicación de las partículas materiales como disturbios locales del mismo medio. Pero está claro que cualquier retorno a la idea de medio material o casi material traería de nuevo todas las enormes dificultades con que se enfrentaron las teorías mecánicas en el pasado; en particular, implicaría un retorno al concepto de un sistema absoluto de referencia, y con ello todos los anticuados conceptos de la dinámica newtoniana. Significaría una resurrección del desacreditado esfuerzo de imaginar el mundo subatómico en términos pictóricos, tomados de la zona de dimensiones medias. La probabilidad de tal retroceso es ciertamente pequeña, y en contra de él hablan simples consideraciones epistemológicas.

Pero se hallaban presentes dificultades más inmediatas. En fecha tan temprana como la de 1929, Louis de Broglie, el descubridor de la mecánica ondulatoria, que primero se vio fuertemente atraído por un modelo hidrodinámico similar al descrito anteriormente [19], hizo una lista de estas dificultades [20]. Primero, los paquetes de ondas tienen tendencia a extender su espacio; si los electrones estuviesen constituidos por tales paquetes de ondas, no serían estables. Cuando recordamos el período de vida extremadamente corto de algunas «partículas» recientemente descubiertas, esta característica parecería sorprendente; la «desmaterialización» de los electrones positivos, por ejemplo, no significa, en términos de la teoría de la fluidez de la materia, nada más que una disolución de un disturbio local en la continuidad indiferenciada del medio etéreo. Tales hechos substancian aparentemente la afirmación de las teorías de la fluidez acerca de que las «partículas» son simplemente denominaciones erróneas de los disturbios locales del éter.

Por otra parte, es entonces difícil explicar la estabilidad relativa de algunas partículas, en particular de los electrones negativos. En este respecto, la teoría original de Schrödinger se enfrenta con la misma dificultad con que se enfrentaban las teorías clásicas de la fluidez: explicar la aparente estabilidad de los corpúsculos físicos. La estabilidad de una región perturbada bien definida apareció siempre dentro de la estructura de las teorías de la fluidez como una especie de accidente feliz.

[19] Louis de Broglie, *Physique et microphysique* (París, 1947), cap. VIII, "Souvenirs personnels sur les débuts de la mécanique ondulatoire", pp. 181-190.

[20] Louis de Broglie, "Déterminisme et la causalité dans la physique contemporaine", *Revue de métaphysique et de morale*, vol. XXXVIII (1929), pp. 437-40.

Pero había otra dificultad aún más seria que apareció, por paradójico que parezca, con la confirmación experimental de la mecánica ondulatoria. Los experimentos efectuados primero por Davisson y Germer, y poco después por G. P. Thomson, hijo de J. J. Thomson, establecieron fuera de toda duda que un haz de electrones pasando por una fina rejilla de cristal da origen al mismo espectro de difracción que los rayos X. El carácter ondulatorio de la materia quedó así establecido; pero al mismo tiempo el carácter peculiar de las ondas de De Broglie quedó claramente demostrado. Como su peculiaridad más intranquilizante, aparentemente excluían toda interpretación intuitiva. Si un electrón estuviese realmente constituido por un paquete de ondas, entonces su existencia se disolvería en el proceso de difracción, pues la acción de una rejilla de cristal efectuaría precisamente una separación de sus frecuencias constitutivas. Sin embargo, esto no ha sido observado. Pues ¿cuál es el significado físico de los obscuros anillos de difracción que mostró la placa fotográfica expuesta? Evidentemente representan los *anillos de máxima* que forman todos los lugares ennegrecidos por el impacto de los electrones incidentes, mientras que los anillos de mínima indican su ausencia. Esto muestra claramente que lo que se difracta no es un solo electrón, sino *todo un rayo*. Una incidente onda de De Broglie no representa un electrón individual, sino un *agregado estadístico de partículas;* no un proceso físico concreto en cualquier sentido habitual, teniendo lugar en un medio material o semimaterial de éter o subéter, sino una «onda de probabilidad», una función periódica, indicando la probabilidad de ocurrencia de una partícula en cierto lugar. Los electrones, al pasar a través de finas películas de materia, se dispersan en direcciones de probabilidad máxima, y su impacto total da origen a los obscuros anillos de máxima en una placa fotográfica. Esta interpretación estadística de las ondas de De Broglie, propuesta primero por Max Born y W. Heisenberg [21], fue gradualmente aceptada por la mayoría de los físicos, aunque de ningún modo por todos ellos, y en el último cuarto de siglo se ha convertido en una interpretación casi paradójica.

Así existe una evidencia cumulativa de que las entidades microfísicas no tienen propiedades ni siquiera remotamente análo-

---

[21] M. Born y W. Heisenberg, "La mecánique des quanta", en *Electrons et photons*, pp. 143-181, en particular pp. 164-165.

gas a las de los cuerpos macroscópicos. Lo que todavía se denomina «partículas» o «corpúsculos» por los físicos contemporáneos no tiene propiedades corpusculares en absoluto. Los «corpúsculos» microfísicos no tienen ni impenetrabilidad ni constancia: ni siquiera la persistencia de los átomos clásicos a través del tiempo. La vida de algunas partículas es extremadamente breve, un relámpago casi instantáneo; ciertamente, es impropio llamar a tales entidades evanescentes por medio de un nombre que sugiere la indestructibilidad y eternidad de los átomos de Lucrecio. Al final del capítulo XIV propuse la sustitución del término «partículas» por el de «sucesos». A la luz de la mecánica ondulatoria esta propuesta está aún más justificada. Pues, como hemos visto, la mecánica ondulatoria asociaba una clase de proceso periódico con «corpúsculos materiales». Al principio había esperanza de interpretar las vibraciones asociadas como vibraciones de algún medio material o casi material hipotético. Porque, en definitiva, este medio se compondría de partículas [22], sería posible recuperar el concepto de entidad corpuscular permanente, perdurando a través del tiempo, en un nivel microfísico, «subetéreo», más fino. Pero no se cumplieron estas esperanzas; las «ondas de probabilidad» sustituyeron a las «ondas del subéter».

Las vibraciones asociadas *no* son *vibraciones de algo;* son inherentes a las propias entidades materiales; o, mejor dicho, *constituyen* las «partículas-sucesos» materiales. Este es el significado de la declaración de Gaston Bachelard:

> De la crítica que proporciona la mecánica ondulatoria se deduce que la partícula no tiene más realidad que la composición que la manifiesta. *Hay sucesos temporales en la propia base de su existencia.* (Hemos añadido la cursiva.) [23].

Bachelard se percata plenamente de que esta fusión de *cosa* y *movimiento* es psicológicamente muy difícil de conseguir por estar en tan clara oposición a su separación clásica [24]. En su *Science and the Modern World*, A. N. Whitehead propuso la eliminación de esta característica paradójica de la teoría cuántica negando la continuidad matemática del tiempo. Brevemente se

---

[22] Compárese capítulo VII de esta obra, bajo el encabezamiento de "Las teorías de la fluidez de la materia". Lo mismo que Huygens, Philip Lenard y Karl Jellinek insistieron en el carácter corpuscular del éter.

[23] G. Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique*, 4.ª ed. (París, 1946), p. 85.

[24] *Ibid.*, p. 140.

refirió a la posibilidad de la existencia de «*quanta* de tiempo» allá por 1920, en su *Concept of Nature*; se movía ya en esta dirección en sus *Principles of Natural Knowledge*, donde dudó de la idea tradicional según la cual el tiempo se compone de instantes sin duración [25]. En esta conexión Whitehead no fue el primero; la posibilidad de que la teoría cuántica nos imponga la idea de la atomicidad del tiempo fue considerada por Henri Poincaré en la póstuma edición de sus *Dernières pensées*. En el mismo año —1913— René Berthelot quedó profundamente sorprendido por la negación de Bergson acerca del tiempo matemáticamente continuo de la física clásica [26]. Esta idea fue expuesta por Bergson en su *Matter and Memory* allá por 1896, o sea, con anterioridad a la aparición de la teoría cuántica, y en una época en que apenas habían empezado a aparecer los primeros indicios de la presente transformación de la física.

Hemos considerado la evidencia convergente con respecto a la insuficiencia de los conceptos de continuidad espacial y temporal en el capítulo VI; hemos visto cómo un creciente número de físicos fueron inducidos por esta insuficiencia a postular *longitud mínima* y *duración mínima*. Pero yo traté de señalar que hablar de la separada existencia de «hodones» y «cronones» delata el hábito prerrelativista de pensamiento; las dos nociones deben unirse en un solo concepto de *pulsación espaciotemporal*. Su componente «espacial» es el hodón, mientras que su componente «temporal» es el cronón. Son inseparables; mientras que la indivisibilidad de los cronones excluye la divisibilidad infinita de los intervalos temporales, el valor finito del hodón expresa el hecho de que las líneas universales no son infinitamente delgadas, sino que poseen *espesura transversal*, aun cuando esta espesura no puede ser considerada en su sección transversal instantánea. Utilizando un lenguaje relativista, podemos decir que los tiempos propios de los electrones están constituidos por la sucesión de cronones, siempre que no olvidemos la inseparabilidad relativista de los cronones respecto de los hodones; entonces sería, al menos filosóficamente, más exacto decir que lo que solíamos llamar «partícula» o «corpúsculo» está constituido por la sucesión de pulsaciones cronotópicas (espaciotemporales). Esto se deduce naturalmente de la fusión relativista de materia y tiempo-espacio; si

---

[25] WHITEHEAD, *Science and the Modern World*, pp. 53-54; *An Enquiry*, pp. 2-8; *The Concept of Nature*, pp. 56-57, 162.

[26] R. BERTHELOT, *Un romantisme utilitaire*, vol. II (París, 1913), p. 222.

admitimos una vez la estructura pulsatoria del tiempo-espacio entonces debe compartirla la propia materia.

Una partícula material pierde así su carácter de entidad substancial, existiendo *en* el espacio y perdurando *a través* del tiempo; se convierte en una modificación local y a menudo sólo temporal del medio espaciotemporal que solíamos llamar «éter» y cuya continuidad espuria oculta su carácter pulsacional. A Whitehead le guió una correcta intuición cuando propuso la sustitución del término tradicional «éter» por «éter de sucesos» a fin de expresar más adecuadamente la ausencia de su divisibilidad infinita y su carácter a manera de proceso [27].

---

[27] WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, p. 78.

CAPITULO DECIMOSEXTO

El fin de la ilusión de Laplace

El principio de indeterminación y sus interpretaciones antagónicas.

El capítulo XV ha arrojado nueva luz sobre la imposibilidad de una clara localización de las «partículas» microfísicas. Según la prevaleciente interpretación de la mecánica ondulatoria, ningún electrón, hablando estrictamente, existe *en* un punto dado; sólo existe cierta probabilidad de hallarlo allí. Esta probabilidad es la única «cosa» que resulta accesible a la medición. El principio de incertidumbre, formulado por Heisenberg [1], prohibe un conocimiento simultáneo de la posición y velocidad de cualquier partícula elemental. Aquí no hay lugar para la explicación de este principio ya bien conocido, cuya exposición se puede encontrar en cualquier libro de texto elemental de la física atómica moderna. Basta decir que cualquier incremento de exactitud en la medición de la posición va acompañado de una creciente vaguedad en el valor medido de la velocidad, y viceversa. Esto se deduce inmediatamente de la relación

$$\Delta p \cdot \Delta x \geqq h \text{ (véase capítulo XIII)}$$

La vaguedad en nuestro conocimiento de un estado presente entraña inevitablemente una limitación de nuestro conocimiento de los estados futuros. Porque el estado presente de cualquier partícula se da mediante la correlación de los valores precisos de su posición y momento, es evidente que sus posiciones y velocidades futuras sólo pueden predecirse con cierta probabilidad, nunca con la certidumbre clásica de Laplace. Sólo tenemos que recordar que en el modelo clásico de Laplace acerca del universo «el mundo

---

[1] W. Heisenberg, *The Physical Principles of Quantum Theory*, traducción de Carl Eckart y Frank C. Hoyt (University of Chicago Press, 1930), caps. II, III.

en un instante dado» era definible como una enorme consideración instantánea de partículas elementales, poseyendo cada una, además de su masa definida, una posición y velocidad claramente definidas; un «estado del mundo» así definido contenía virtualmente todas las configuraciones y velocidades pasadas y futuras, porque cualquier suceso en la historia universal era en principio deducible de cualquier estado cósmico claramente definido. Según el principio de incertidumbre, tanto el concepto de posición precisa como el de velocidad claramente definida pierden sus significados; por consiguiente, el concepto del «estado del mundo en un instante» pierde también su carácter definido. Este concepto ha sido ya plenamente desacreditado por la crítica relativista de la simultaneidad de sucesos distantes; el principio de Heisenberg dio simplemente un *coup de grâce* final.

No sólo excluye este principio la posibilidad de una localización precisa en el espacio, sino que en su segunda formulación

$$\triangle E \cdot \triangle t \geqq h \text{ (véase capítulo XIII)}$$

echa a perder la posibilidad de una clara *localización en el tiempo;* pues cualquier partícula localizable en un instante matemático carecería literalmente de valor definido de energía. Así el concepto de energía en un instante definido ha perdido su legitimidad en el mismo grado que el de posición definida asociada con velocidad definida.

Después de todo lo que se ha dicho acerca de la crisis de los conceptos clásicos de partícula y movimiento, y acerca de la insuficiencia de los conceptos de posición instantánea y velocidad instantánea, es simplemente natural esperar que el concepto tradicional de *movimiento rotatorio* se modifique de un modo igualmente profundo y revolucionario. Después de todo, el concepto de movimiento rotatorio es meramente un caso especial del concepto de movimiento en general y la transformación de éste entraña inevitablemente la transformación de aquél. Esto se ve plenamente enfocado por la tercera y cuarta formas del principio de indeterminación.

En la tercera forma del principio las variables conjugadas son momento angular A y posición angular γ; los productos de las incertidumbres correspondientes deben ser entonces

$$\triangle A \cdot \triangle \gamma \geqq h$$

La completa ausencia de incertidumbre acerca del momento

angular dejaría la posición angular de un electrón en su órbita completamente indeterminada; un resultado que es apenas sorprendente en vista de lo que ya se había dicho acerca de lo disparatado de su localización precisa. Desde el punto de vista de la mecánica ondulatoria, que considera los electrones orbitales como «ondas estacionarias», esto es simplemente natural; un electrón es, por decirlo así, «omnipresente» a lo largo de toda su órbita. Como la incertidumbre máxima de la posición angular está correlacionada con el valor preciso del momento angular, y como aquélla no puede ser mayor de 360°, o sea, 2π, se deduce que el valor de éste debe ser $h/(2\pi)$; pues sólo entonces $(2\pi h)/(2\pi) = h$. De esto, como señaló F. A. Lindemann hace más de un cuarto de siglo[2], se deduce inmediatamente la condición de Bohr para la órbita cuántica.

Así el término «órbita» es completamente desorientador. ¿Podemos hablar por lo menos de su *radio* o, utilizando el lenguaje ondulatorio, de la distancia de la «onda estacionaria» electrónica respecto del núcleo? La fórmula clásica para los radios de las órbitas cuánticas del átomo de hidrógeno

$$r = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 m_0 e^2}$$

indica aparentemente que sí podemos. Pues en la expresión anterior todos los símbolos designan aparentemente cantidades bien definidas: h = constante de Planck, n = número cuántico, m_0 = masa de electrón, e = su carga. Pero F. A. Lindemann señaló que la coordenada conjugada al cuadrado de la carga es la velocidad recíproca $\frac{1}{v}$, en otras palabras, el tiempo empleado en recorrer la distancia unidad. «Cuanto más exactamente podamos expresar la velocidad, tanto más exactamente conoceremos la carga. A la inversa, la inexactitud en nuestro conocimiento de la velocidad puede ser interpretada como inexactitud en nuestro conocimiento de la carga»[3]. Como la primera forma del principio de Heisenberg excluye la exactitud en nuestro conocimiento de la velocidad, la determinación exacta de la carga se ve igualmente excluida; a su vez, esto produciría también inexactitud en nuestro conocimiento del radio. También se deduce esto de la

---

[2] F. A. Lindemann, *The Physical Significance of the Quantum Theory* (Oxford, Clarendon Press, 1932), p. 83.

[3] *Ibid.*, p. 110.

segunda forma del principio de Heisenberg, en la cual las variables conjugadas son la energía y el tiempo.

En la cuarta forma del principio de indeterminación las variables conjugadas son el momento de la inercia I y la velocidad angular ω:

$$\Delta I \cdot \Delta\omega \geqq h$$

Ahora bien, si nos adherimos a la imagen estrictamente corpuscular del electrón, el valor preciso de su momento de inercia dejará su velocidad angular completamente indeterminada. Esta conclusión es inevitable mientras se consideren como valores claramente definidos las cantidades que entran en la fórmula para el momento de inercia del electrón, o sea, su masa y radio. Así la propia insistencia sobre la representación corpuscular conduce a una contradicción; la esfera electrónica tendría un radio definido, un tamaño definido, una masa definida, ¡pero no velocidad angular, ni siquiera una velocidad cero! (pues incluso una velocidad cero representa un valor definido). Esto significa que tenemos que estar en guardia para no aceptar la atractiva imagen del electrón como esfera cargada rotante, la imagen que inevitablemente evoca el término «giro». Esta imagen es incompatible no sólo con el principio de indeterminación, sino también con la teoría de la relatividad: ¡pues un punto en la circunferencia de la denominada esfera electrónica debe girar con una velocidad trescientas veces más rápida que la de la luz! [3a].

Las formas tercera y cuarta del principio de indeterminación son aludidas con menos frecuencia que las dos primeras. Incluso los libros de texto de la física atómica frecuentemente dejan de tratar de ellas explícitamente, mientras que en las discusiones filosóficas apenas se hace alguna vez mención de ellas [4]. Sin embargo, su significado no debe ser subestimado. Claramente destruyen dos atractivas imágenes clásicas que subsisten en la microfísica: la de un *sólido rotante* y la de una *órbita continua bien definida*, en la cual un electrón-planeta, girando sobre su eje, da vueltas alrededor de un núcleo. Al principio de este siglo los físicos y los legos se maravillaron de la «unidad de la naturaleza en el espacio», especialmente por la asombrosa similitud entre

---

[3a] H. MARGENAU, *The Nature of Physical Reality* (McGraw-Hill, 1910), p. 313; E. BAUER, *L'Electromagnétisme hier et aujourd'hui* (París, 1949), p. 175.

[4] Dos notables excepciones son F. A. LINDEMANN y GASTON BACHELARD, a cuyos libros hacemos referencia más adelante.

nuestro sistema solar y los microsistemas de los electrones-planetas. La parte primera mostró cuán atractiva era esta analogía entre el macrocosmos y el microcosmos, cómo dominó la imaginación de Pascal, Leibniz y Huygens en el siglo XVII, y cómo resurgió a principios de este siglo en las especulaciones gulliverianas de Fournier d'Albe y otros. El título del libro de A. Righi, publicado en 1921, *Comets and Electrons,* era ciertamente significativo [5].

Ya hemos señalado cuán engañosa era la analogía entre el átomo y nuestro sistema solar; el análisis de las dos últimas formas del principio de incertidumbre confirma simplemente nuestra conclusión anterior.

El principio de indeterminación arroja una inesperada luz sobre el descubrimiento de Nernst, que había sido hecho con anterioridad al advenimiento de la mecánica ondulatoria: que las partículas microfísicas retienen alguna energía incluso a temperatura de cero absoluto. Traducido a terminología clásica, esto significa que las partículas en cuestión están *todavía vibrando y girando,* aun cuando, según la teoría cinética de la materia, deben hallarse completamente en reposo. Desde el punto de vista clásico, según el cual el concepto de cuerpo material es lógicamente separable de su movimiento, este descubrimiento era difícil de comprender; no se puede dar ninguna razón para la imposibilidad de partículas completamente estacionarias. No sólo no hay nada contradictorio en concebir un cuerpo sin movimiento, sino que incluso, según el principio de la relatividad, *cualquier* cuerpo en movimiento se puede hacer estacionario mediante una adecuada elección del ángulo de referencia. (Aquí hay otra limitación de la teoría de la relatividad, que se debe a su carácter macroscópico: sólo *a nivel macroscópico* es posible eliminar cualquier movimiento mediante una adecuada elección del ángulo de referencia; de forma análoga, sólo *a nivel macroscópico* es posible hablar muy aproximadamente acerca de la continuidad del tiempo-espacio y las líneas universales infinitamente delgadas.)

Pero la denominada «energía cero» parecerá menos paradójica si tenemos en cuenta los resultados de nuestra discusión en el capítulo XV concerniente a la transformación radical del concepto de movimiento. Si el movimiento no puede separarse de una «cosa movida» y viceversa, entonces la denominada «energía cero»

---

[5] A. RIGHI, *Kometen und Elektronen,* deutsch von M. Ikle (Leipzig, 1921).

es simplemente otra sorprendente confirmación de la inseparabilidad de dos conceptos que se han fusionado en una sola noción dinámica. No es menester decir que esta síntesis es, hablando psicológicamente, una operación extremadamente difícil; todos nuestros hábitos mentales clásicos se sublevan contra ella. Con palabras de Gaston Bachelard:

> En esta síntesis física subyace una síntesis metafísica de «cosa» y «movimiento». Corresponde a un juicio sintético extremadamente difícil de formular, puesto que se opone vehementemente a los hábitos analíticos de la experiencia ordinaria, que sin vacilación alguna divide los fenómenos en dos reinos: fenómenos estáticos (cosas) y fenómenos dinámicos (movimientos). Debemos devolver al fenómeno todas sus conexiones y desembarazarnos de nuestra noción de *reposo*. En la microfísica es absurdo suponer que la materia está en reposo, puesto que para nosotros sólo existe como energía y no nos envía mensajes nada más que por radiación [6].

Las dificultades psicológicas son menores si nos damos cuenta de que la distinción tradicional entre materia y movimiento debe su engañosa fuerza de convicción a su origen sensorio, al acondicionamiento de nuestra mente por la «zona de dimensiones medias». Fuera de esta zona, la distinción pierde incluso su validez aproximada. Una vez que nos percatemos de esto, nos encontraremos en mejor posición para comprender que la «energía cero», lo mismo que las vibraciones mecánicoondulatorias, no es, hablando con propiedad, una energía cinética en el sentido macroscópico tradicional. No es comparable al movimiento browniano, porque no tiene nada en común con las vibráciones térmicas. Como acentuó Lindemann, es solamente otro aspecto de la inseparabilidad de las coordenadas geométricas y dinámicas, que es la propia esencia del principio de indeterminación [7]. Según expresión de Bachelard, es «movilidad primaria, precediendo, por decirlo así, a la movilidad térmica» («*mobilité première antécédente à la mobilité thermique*») [8]. Tal declaración parece completamente ininteligible e incluso disparatada dentro de la estructura cinético-corpuscular clásica; pero en vista de lo que se ha dicho en el capítulo XV acerca del concepto de *cambio* sustituyendo al de desplazamiento, y del concepto de *suceso* sustituyendo al de par-

---

[6] G. BACHELARD, *Le nouvel esprit scientifique*, pp. 140-141.

[7] LINDEMANN, *op. cit.*, pp. 53, 68.

[8] G. BACHELARD, *L'Experience de l'espace dans la physique contemporaine* (París, 1937), p. 74.

tícula, pierde su carácter paradójico, aun cuando su significado positivo no posee la claridad cartesiana engañosa que los conceptos clásicos. Volveremos a su significado positivo al final de este capítulo.

Por lo que se ha dicho, está claro que los físicos apenas exageran cuando hablan de la *crisis de determinismo* en la física contemporánea. Sin embargo, en el lenguaje de aquellos físicos que insisten en la insuficiencia del determinismo clásico, hay ciertas características que inevitablemente producen interpretaciones erróneas y confusiones, y que finalmente debilitan su propia afirmación básica. Cuando estos físicos hablan acerca de la «posición incierta» del electrón o acerca de su «velocidad incierta» ; o cuando hablan acerca de la «probabilidad de la ocurrencia de un electrón» en una posición dada ; o cuando hablan de la «imposibilidad de determinar simultáneamente la posición y el momento de una partícula», entonces no sólo los legos, sino incluso los filósofos o los físicos de mentalidad filosófica se ven casi inevitablemente desorientados. Naturalmente se inclinan a comprender los términos «incertidumbre» y «probabilidad» en su sentido subjetivo habitual. En tal sentido, la indeterminación de los sucesos microfísicos es de origen puramente subjetivo, no siendo nada más que la incertidumbre humana que resulta de nuestra incapacidad técnica para hallar todas las circunstancias determinantes de un fenómeno observado. Tal indeterminación de la velocidad y posición de las partículas microfísicas existiría únicamente en nuestro propio conocimiento y no en la naturaleza de las cosas ; la realidad microfísica *en sí* (Kant diría *an sich)* sería estrictamente determinada, mientras que toda vaguedad, toda incertidumbre, toda indeterminación sería resultado de la intervención de un físico que mediante su acto de observación modifica las condiciones del fenómeno observado. Esta idea fue expuesta claramente unos cuantos años después de la formulación del principio de Heisenberg por el filósofo francés Léon Brunschwicg :

Queda por entender que esto [el principio de Heisenberg] no implica de ningún modo la derrota del determinismo; meramente significa que en el estado presente de nuestra técnica experimental no nos satisface ya una forma de determinismo de mentalidad simple y dogmática, que se interesa por la realidad, sin interesarse por el conocimiento. ...Las relaciones de incertidumbre meramente significan que *el determinismo del fenómeno observado* no es en sí nada más que una

abstracción, porque es inseparable del *determinismo mediante el cual se rige el acto de observación* [9]. (Hemos añadido la cursiva.)

Según esta interpretación, toda la situación, a la cual los instrumentos de un observador pertenecen tanto como el propio fenómeno observado, se halla sujeta al mismo determinismo riguroso que el de la física clásica. Si fuera así, entonces la probabilidad estadística de los sucesos microfísicos sería del mismo género que las leyes estadísticas de la teoría cinética clásica de los gases. Cuando esta teoría fue propuesta en la segunda mitad del pasado siglo, nadie dudaba de que las moléculas de gas individuales se mueven según las leyes estrictas de la mecánica newtoniana, aun cuando en experimentación y cálculo los físicos sólo podían tratar de enormes agregados moleculares. Para la mente laplaciana, que, como hemos visto, era simplemente una expresión pictórica para el orden objetivo e impersonal de la naturaleza y que no se hallaba sujeta a laboriosos procedimientos de experimentación y observación, no existía incertidumbre ni indeterminación; las velocidades y las posiciones de las micropartículas, así como los valores de su energía y sus fechas temporales, parecían completamente definidas: inequívocas y claras, aunque tremendamente complejas y humanamente inaccesibles. En esta idea, la propia naturaleza no posee ningún «límite vago»; toda vaguedad, toda ambigüedad, toda indeterminación reside no en la naturaleza de las cosas, sino en la mente de un observador. La indeterminación microfísica se debe a la influencia perturbadora de la observación; pero el determinismo compuesto del fenómeno observado y el proceso de observación permanece intacto.

Así, en vez de verse amenazado por las relaciones de incertidumbre de Heisenberg, el determinismo clásico *explicaría* su existencia. Herbert Spencer, si viviese, ciertamente se hallaría satisfecho de tal actitud; pues ciertamente consideraría la existencia de las relaciones de incertidumbre como otro ejemplo de su predilecta «ley de persistencia de fuerza», o sea, la ley de la conservación de energía aplicada al proceso de la propia observación. Pues si la cantidad de energía permanece siempre y ri-

[9] Léon Brunschwicg, "Science et la prise de conscience", *Scientia,* vol. LV (1934), p. 334; también *La Physique du XXe siècle et la philosophie,* Actualités Scientifiques et Industrielles, núm. 445 (París, 1936). La misma idea fue adoptada por H. Margenau (que después la abandonó) en su primer artículo "Causality and Modern Physics", en *The Monist,* v. 41 (1931), y por W. H. Werkmeister en su libró *A Philosophy of Science* (Harper, Nueva York, 1940), pp. 272-277.

gurosamente constante, ni siquiera puede desaparecer su fracción más diminuta, y, por tanto, su influencia no puede ser desconsiderada. Pero precisamente estas pequeñas fracciones de energía se hallan presentes en forma de fotones, que en el microscopio de rayos gamma «perturban» el objeto observado. La explicación convencional de indeterminación por el efecto de Compton tiene un anillo más spenceriano que lo que observan los autores de los libros de texto de física. Incluso el propio Heisenberg, como observó ingeniosamente Karl R. Popper, «trata de dar una explicación causal de por qué son imposibles las explicaciones causales» [10].

Los físicos contemporáneos generalmente no comparten esta idea determinista. Salvo algunas excepciones, entre las que se contaban, por paradójico que parezca, Einstein y Planck, los físicos rechazan hoy la hipótesis de procesos ocultos estrictamente determinados que subyacían en la aparente contingencia de los fenómenos observados. En su idea, las leyes estadísticas observadas de la microfísica no son simples fenómenos superficiales, finalmente reducibles a los modelos causales clásicos; por el contrario, las leyes estadísticas son consideradas como características últimas e irreducibles que constituyen la realidad física objetiva. Esta actitud se debe grandemente al positivismo que prevalece entre los físicos contemporáneos, que insisten en una consistente eliminación de *todos* los factores inobservables. Einstein reconoció explícitamente su deuda intelectual con Hume y Mach; su repulsa del ángulo absoluto de referencia fue motivada por los repetidos fracasos de detectar su existencia por medio de experimentos mecánicos, ópticos o electromagnéticos. No cabe duda acerca de que un motivo positivista similar se halla conspicuamente presente en las mentes de los físicos que tratan del problema del

---

[10] KARL R. POPPER, *The Logic of Scientific Discovery* (Basic Books, Nueva York, 1959), p. 249 El característico pasaje en los *Principles of Psychology de* H. SPENCER (Nueva York, Appleton, 1897), I, p. 502, puede servir como modelo a nuestros defensores contemporáneos del determinismo: "La irregularidad y aparente libertad son resultados inevitables de la complejidad, e igualmente surgen en el mundo inorgánico bajo condiciones paralelas... Un cuerpo en el espacio, sujeto a la atracción de un solo cuerpo, se mueve en una dirección que puede predecirse con exactitud. Si se halla sujeto a las atracciones de dos cuerpos, su curso se calcula sólo aproximadamente. Si se halla sujeto a las atracciones de tres cuerpos, su curso se puede calcular con menos precisión todavía. Y si en todos sus lados hay cuerpos multitudinosos de diferentes tamaños a diferentes distancias, como en medio de uno de los grandes grupos estelares, su movimiento parece no ser influido por ninguno de ellos: se moverá de un modo indefinible que parece autodeterminado: parecerá que es *libre*".

determinismo en la mecánica cuántica: consideran el determinismo empíricamente inalcanzable tan inútil como el éter hipotético que escapa a todos los medios de detección empírica.

Sin embargo, es interesante ver a Einstein vacilando en aplicar la cuchilla de Occam al determinismo clásico, aunque previamente había empleado con audacia esta cuchilla para eliminar el éter inmóvil empíricamente inverificable. Esto muestra simplemente un positivismo puro e inadulterado en un fenómeno extremadamente raro; como veremos, la resistencia de Einstein a desviarse del determinismo se debía a ciertas predilecciones metafísicas inconscientes o semiconscientes. Esto explica por qué Einstein, que fue un fenomenista bastante consistente en su teoría de la relatividad, lo fue mucho menos en su actitud hacia los fenómenos cuánticos, aunque en la actualidad el determinismo clásico es tan inverificable como el espacio absoluto o el movimiento absoluto.

Es aún más instructivo observar a aquellos físicos que, ajustándose más consistentemente que Einstein a la regla de parsimonia, consideran vanas todas las esperanzas de explicar las relaciones de incertidumbre mediante modelos causales inobservables ocultos. Sin embargo, a pesar de todas las declaraciones positivistas y agnósticas en sentido contrario, su imaginación en la mayoría de los casos sigue siendo irremediablemente realista y naturalmente retienen un impulso a *imaginar* de algún modo el denominado fondo inobservable de los fenómenos. Cuando Heisenberg, por ejemplo, empieza la explicación de su principio mediante su famoso *Gedankenexperiment* (experimento mental), en el que una micropartícula es «iluminada» por la radiación de alta frecuencia mediante la cual se modifica su momento [11], ¿no significa esto que, en contra de sus propias convicciones conscientes, todavía imagina visualmente las partículas elementales como entidades corpusculares individuales básicamente análogas a los cuerpos macroscópicos de nuestra experiencia diaria? Es probable que Heisenberg y todos los físicos de mentalidad filosófica afirmarían que, si cualquier contenido visual imaginativo se halla presente en su mente cuando utilizan los términos «partícula» o «corpúsculo», es un fenómeno psicológico accesorio y sin importancia que acompaña al pensamiento abstracto que puede expresarse en simbolismo matemático preciso. Insistirían en

[11] HEISENBERG, *op. cit.*, pp. 20 y sig.

que es el pensamiento el que realmente cuenta; las imágenes concomitantes carecen totalmente de importancia.

Creo que es éste un grave error que nace de una desafortunada separación de la psicología y la epistemología. Simplemente no es cierto que lo que concebimos de manera abstracta es siempre independiente del contenido imaginativo inconsciente o semiconsciente concomitante. Un análisis detallado mostraría que a menudo el poder de convicción de las ideas abstractas tiene sus raíces en las inmediaciones imaginativas inconscientes que las rodean. Ejemplos de este tipo han sido ya mencionados en la parte I; recordemos brevemente uno de ellos: el concepto clásico de continuidad espaciotemporal. En este concepto subyace nuestra incapacidad subjetiva para dejar de *imaginar* subintervalos más pequeños dentro de cualquier intervalo de espacio y tiempo, por diminuto que sea. Es imposible separar la epistemología de la psicología por la simple razón de que ningún límite claro separa la «razón» de la «imaginación».

Aun aquellos que persistentemente insisten en la independencia de su epistemología respecto de los factores psicológicos aceptan, sabiéndolo o sin saberlo, cierta teoría de mente, o sea, cierta *psicología* conveniente a sus propósitos. Pero parecen hallarse menos conscientes de que esta psicología está ahora más bien pasada de moda, puesto que se basa en una separación artificial del pensamiento «claro» y «puro» respecto del denominado contenido sensorio «confuso». Esta división de la mente en facultades independientes es una de las principales características del racionalismo de los siglos XVII y XVIII, y se halla muy claramente presente en la separación kantiana de *Sinnlichkeit* y *Vernunft*. Pero ya Locke y Leibniz habían empezado a dudar de los límites definidos que hipotéticamente separaban la razón y la imaginación: Locke al mover el límite hacia arriba a fin de incluir la razón en la percepción sensorial y sus derivados, Leibniz al mover el límite hacia abajo a fin de transformar la percepción sensorial en una forma rudimentaria de la razón. No es necesario entregarse uno a una epistemología particular a fin de observar que los elementos imaginativos olvidados no sólo acompañan, sino que también matizan e influyen incluso en las operaciones aparentemente abstractas del pensamiento, a veces de un modo decisivo. La epistemología, y la epistemología de la física moderna en particular, se beneficiarían de una especie de «psicoanálisis del conocimien-

to» en el sentido de Gaston Bachelard [12], que desenmascararía la influencia prohibitiva de nuestro subconsciente euclidiano y newtoniano en las mentes de aquellos físicos que creen sinceramente hallarse enteramente libres de ellos.

Tal visualización subconsciente o semiconsciente es ciertamente responsable de que una imagen de partícula individual surja espontáneamente en nuestra mente tan pronto como pronunciamos una palabra como «electrón», «protón», «mesón», etc. De tal imagen es imposible separar sus propiedades constitutivas: su posición en cierto momento de tiempo y su movimiento o falta de movimiento dentro de cierto ángulo de referencia. El propio concepto de partícula consiste en la asociación de su posición, su masa y su movimiento; o, más técnicamente, de su posición y momento. En verdad, estas dos facetas —posición y momento— constituyen el único residuo que la dinámica abstracta retenía de la imagen cruda y sensorial original de Lucrecio y Gassendi. Como observó Louis de Broglie no hace mucho tiempo [13], al hablar de partículas microscópicas tenemos la tendencia a imaginar pequeñísimos granos de arena; naturalmente, estamos conscientes de la insuficiencia de esta imagen, y siguiendo la antigua tradición atomística, eliminamos de tal imagen todas las características sensoriales, todas las «cualidades secundarias», hasta que finalmente no quedan nada más que las propiedades geométricas y mecánicas básicas. Cuando, por fin, el concepto de corpúsculo se reduce a la conjunción de su posición y momento, hemos llegado al *límite más lejano* que podemos alcanzar; un paso más conducirá inevitablemente a la eliminación del propio concepto.

Tanto psicológica como lógicamente, es enteramente imposible divorciar el concepto de velocidad, o el de posición, del concepto de partícula sin destruir el concepto de partícula en sí. Dentro de un ángulo de referencia, una partícula sólo puede tener *una* posición definida y *una* velocidad definida; una partícula sin velocidad definida o sin momento definido, la denominada «partícula indefinida» («*la particule imprécise*»), no es nada más que una pseudoidea, una simple combinación de palabras, un puro *flatus vocis*. Pero esta pseudoidea es resultado del compromiso entre la máxima positivista, que excluye todos los inobservables,

---

[12] G. BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique* (París, 1947). El subtítulo es característico: "Contribution à une Psychanalyse de la connaissance objective".

[13] LOUIS DE BROGLIE, *Continu et Discontinu en physique moderne* (París, 1941), p. 67.

y nuestra casi irresistible tendencia a visualizar. Lo mismo sucede con el concepto de «probabilidad de aparición de una partícula en cierto lugar». También en estos términos las tendencias visualizantes de la imaginación, que se manifiestan en el uso de tales expresiones como «lugar», «aparición», «partícula», chocan con el principio positivista abstracto que exige la exclusión de todos los inobservables.

De este *impasse* parece haber sólo dos salidas: o ceder a la proclividad natural de nuestra imaginación —no es preciso decir la imaginación ya purificada en el sentido de la física clásica— y admitir que las partículas microfísicas tienen localización precisa en el espacio y están dotadas de una cantidad bien definida de movimiento; o llevar la revisión de nuestros conceptos a su conclusión lógica y abandonar por completo la idea de partículas individuales, como todas las otras nociones sensoriales o pseudosensoriales que la física tomó del mundo de la experiencia macroscópica. La primera salida implicaría la rehabilitación del determinismo clásico que se extendería a todos los sucesos microfísicos; entonces las denominadas «incertidumbres» o «indeterminaciones» carecerían de significado objetivo, siendo simplemente huecos, tal vez incluso huecos temporales, en nuestro conocimiento. Lógicamente, apenas hay campo medio entre estas dos soluciones. Es epistemológicamente intolerable, al menos a la larga, retener un subconsciente a la manera de Newton y Demócrito que es enteramente incompatible con nuestras convicciones conscientes y expresiones verbales. No obstante, esta insegura oscilación entre el newtonismo subconsciente y su repulsa consciente parece ser una actitud característica por parte de un gran número de físicos de hoy, en particular los que insisten sobre la irreducibilidad de las leyes estadísticas a algunos micromecanismos causales ocultos.

Este es simplemente otro modo de decir que la segunda solución es, desde el punto de vista psicológico, incomparablemente *más difícil* que la primera. El determinismo clásico se hallaba, como hemos visto, regularmente asociado con los modelos cinético-corpusculares de la realidad; si rechazamos el determinismo y hablamos todavía de corpúsculos, evidentemente utilizamos un lenguaje inadecuado. De aquí tales monstruosidades como partícula sin posición o velocidad definida. Hace casi un cuarto de siglo una insatisfacción con esta situación fue claramente expresada por Schrödinger:

La mecánica cuántica de hoy comete el error de mantener conceptos de la mecánica clásica de puntos —energía, impulso, lugar, etcétera— a costa de negar a un sistema *en un estado precisamente determinado* valores definidos para estas magnitudes. Esto muestra cuán inadecuados son estos conceptos. *Los propios conceptos deben ser abandonados, no su clara definibilidad.* Se hacen intentos de evitar las monstruosidades de conceptos mal definidos llevando a cabo centenares de experimentos mentales para demostrar claramente que las magnitudes en cuestión bajo estas circunstancias no pueden ser medidas en principio exactamente [14]. (Hemos añadido la cursiva.)

No sólo el concepto de corpúsculo, sino incluso *el concepto más general de localización espaciotemporal precisa*, se hace inadecuado (capítulo XIII). En realidad, toda la estructura conceptual de la física clásica es totalmente incompatible con la afirmación de que la contingencia de sucesos microfísicos es de naturaleza objetiva, en vez de ser simplemente resultado de nuestras limitaciones técnicas o del efecto perturbador mediante el cual un fenómeno observado se modifica en el propio acto de observación. Pero esto constituye un estorbo muy grave para los que defienden esta afirmación, o sea, para los que no comparten la idea de Léon Brunschwicg, citada anteriormente, ni las esperanzas de Albert Einstein y, más recientemente, de Louis de Broglie, David Bohm y Jean Pierre Vigier, según las cuales las relaciones de incertidumbres serán finalmente reducibles a un modelo causal, básicamente no distinto de los modelos causales de la física clásica [15].

Los defensores de la interpretación determinista tienen la tremenda ventaja de poseer un lenguaje ya hecho con la estructura

---

[14] E. SCHRÖDINGER, "Über die Unanwendbarkeit der Geometrie in Kleinen", *Naturwissenschaften*, vol. 22 (1934), p. 519.

[15] A. EINSTEIN, "Remarks Concerning the Essays Brought Together in this Cooperative Volume", en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, en particular la respuesta de Einstein a Born, Pauli, Heitler, Bohr y Margenau, pp. 666-670; L. DE BROGLIE, «La physique quantique restera-t-elle indéterministe?", *Bulletin de la Societé française de Philosophie*, séance du 25 avril 1953; también *Nouvelles perspectives en microphysique* (París, 1956), pp. 115-165; DAVID BOHM, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, Routledge and Kegan Paul, 1957), especialmente capítulos III, IV; JEAN PIERRE VIGIER, *Structure des micro-objets dans l'interprétation causale de la théorie des quanta* (París, 1956). La crítica de Einstein acerca de la teoría cuántica y especialmente su identificación del indeterminismo con el positivismo o incluso el solipsismo requeriría un análisis muy cuidadoso y detallado. Una considerable parte de su crítica puede ser aceptada sin coincidir con su determinismo; pues, en contra de su creencia, el contingentismo *no* es equivalente al positivismo o al idealismo de Berkeley.

conceptual correspondiente fortalecida por tres siglos de tradición científica y veinticinco siglos de tradición filosófica; pues no olvidemos que el determinismo filosófico tiene veinticinco siglos de antigüedad. Sería injusto, desde luego, afirmar que las interpretaciones deterministas carecen del refinamiento y complejidad de sus rivales; pero, como veremos, en sus características básicas y mediante sus motivos básicos, son, a menudo conscientemente, un retorno al pasado. Por esta razón, el camino de la interpretación determinista parecerá, durante cierto tiempo por lo menos, más atractivo y más natural, mientras que la interpretación opuesta se nos brinda como aventurada y confusa. Esto es apenas sorprendente; los indeterministas físicos no tienen ni un lenguaje adecuado ni una estructura conceptual correspondiente a su disposición; siempre que tratan de expresar sus ideas se enredan naturalmente en experimentos mentales artificiales que son necesariamente desorientadores, porque encierran planes experimentales macroscópicos y el uso del lenguaje *corpuscular*, totalmente inadecuado para la descripción de los sucesos microfísicos.

Pero, a pesar de esta característica atractiva, no se puede confiar ya en la interpretación determinista. Antes de resumir las importantes razones epistemológicas que hacen que sea extremadamente improbable una rehabilitación clásica del determinismo, tenemos que considerar primero el peso de los hechos físicos que apuntan hacia la misma conclusión.

En primer lugar, el verdadero significado del principio de incertidumbre se veía y se ve obscurecido por las consideraciones en que se acentuaba indebidamente el papel de la observación. No sólo un lego, sino incluso un filósofo interesado por la física, y frecuentemente el físico medio, mientras no esté suficientemente familiarizado con la estructura lógica de la mecánica ondulatoria, tiene la impresión de que la incertidumbre microfísica no es nada más que la *incertidumbre de medición* que resulta de la intervención de un observador y sus instrumentos de observación. La presentación habitual del principio de Heisenberg en los libros de texto conduce casi inevitablemente a tal idea.

Una excesiva insistencia sobre el acto de observación y la presencia del observador produjo una nota desorientadora de idealismo epistemológico en las discusiones que giran alrededor del principio de indeterminación. Esta nota fue acogida con una satisfacción casi igual, aunque por razones filosóficas muy diferentes, por los físicos de orientación idealista y por los neopositivis-

tas. Esto se hará menos paradójico si recordamos que los neopositivistas, en particular en Alemania y Austria, no han perdido nunca su matiz kantiano, especialmente en su epistemología; la línea divisoria entre los positivistas y los neokantianos es a veces muy vaga, y del fenomenismo al idealismo hay tan sólo un paso. Después de todo, los antecesores de los idealistas y positivistas contemporáneos —Berkeley y Hume— no se hallaban demasiado separados, al menos en su epistemología. Una actitud análoga fue adoptada por los mismos dos grupos hacia la teoría de la relatividad. Las palabras de Alfred North Whitehead criticando esta actitud pueden aplicarse *mutatis mutandis* a las actuales interpretaciones neopositivistas e idealistas del principio de indeterminación:

> Ha habido una tendencia a dar una extremada interpretación subjetivista a esta nueva doctrina. Quiero decir que la relatividad de espacio y tiempo ha sido construida como si dependiese de la elección del observador. Es perfectamente legítimo introducir al observador, si éste facilita las explicaciones. Pero es el cuerpo del observador lo que deseamos, y no su mente. Incluso este cuerpo es solamente útil como ejemplo de una forma muy familiar de aparato. En general, es mejor concentrar la atención en el interferómetro de Michelson, y dejar el cuerpo de Michelson y la mente de Michelson fuera del cuadro [16].

Este pasaje puede repetirse casi *verbatim*, si reemplazamos a Michelson por Heisenberg y si sustituimos «el interferómetro de Michelson» por «el microscopio de rayos gamma de Heisenberg», y la «relatividad de espacio y tiempo» por «indeterminación». Podemos ir más lejos y decir que incluso la presencia del instrumento, ya sea el interferómetro de Michelson o el microscopio de rayos gamma de Heisenberg, sirve en cualquiera de ambos casos para exhibir algunos efectos particulares de las características objetivas de la naturaleza, ya sea unión relativista de espacio y tiempo o indeterminación microfísica.

Con esto no se intenta menoscabar la corrección del *Gedankenexperiment* de Heisenberg; su única deficiencia es limitar nuestra atención solamente a un caso especial. Pues la influencia del aparato físico sobre el fenómeno observado es únicamente *un ejemplo especial de interacción física en general, cuyo carácter se ve siempre y en todas partes dominado por la constante* h *de Planck;* el principio de incertidumbre, o sea, la imposibilidad de

---

[16] A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, pp. 172-173.

localización puntual en espacio y tiempo, se deduce lógica e ineludiblemente de la indivisibilidad de los átomos de acción. El átomo de acción de Planck es una constante universal, independiente de cualquier observador e invariante desde el punto de vista relativista; apenas hay quien afirma que su aparición en los datos empíricos es producida por una intervención del observador. Si consideramos la acción como realidad física fundamental, entonces, en una reflexión más minuciosa, se hará evidente que la realidad de los corpúsculos claramente localizados, dotados de valores instantáneos precisos de momento y energía, debe ser negada. Hemos visto que a tal conclusión llegó Schrödinger en 1934; fue formulada, al menos implícitamente, por Eddington unos cuantos años antes de esa fecha:

La sugerencia es que una asociación de posición exacta con momento exacto no puede ser nunca descubierta por nosotros *porque no existe tal cosa en la Naturaleza*[17]. (La cursiva pertenece al original.)

Pero hemos visto que la asociación de posición con momento es prácticamente el único vestigio que subsistía en la dinámica abstracta de la noción original sensorial y cruda de corpúsculo. Si incluso se duda de este último vestigio, ¿queda algo del concepto de corpúsculo? Una declaración más reciente de Philip Frank critica inteligentemente la intrusión de las nociones corpusculares en varias exposiciones del principio de indeterminación:

Muy frecuentemente, en presentaciones populares que escriben de vez en cuando los científicos, las leyes que rigen los objetos atómicos son formuladas de un modo desorientador. Algunos autores han dicho que según las leyes contemporáneas de movimiento para partículas atómicas, la posición y velocidad de una partícula no pueden medirse al mismo instante. Si medimos la coordenada (posición), «destruimos» la posibilidad de medir el momento, y viceversa. Esta formulación es desorientadora porque da la impresión de que antes de la medición había una «partícula» que poseía tanto posición como velocidad, y que la «medición de su posición» destruía la posibilidad de «medir su momento». En realidad, el propio objeto atómico no puede ser descrito por los términos «posición» o «velocidad». Evidentemente, lo que no «existe» no puede ser «destruido»[18].

Puesto que la hipótesis de que un objeto atómico se conduce como

---

[17] A. E. Eddington, *The Nature of the Physical World*, p. 225.

[18] Philip Frank, *Philosophy of Science: The Link Between Science and Philosophy* (Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1957), p. 215.

una «partícula auténtica» es incompatible con los hechos observables de la física atómica, el objeto no posee ni posición ni momento; *no pueden ser medidos porque no existen.* Por la misma razón, la posibilidad de medirlos no puede destruirse porque nunca ha existido[10]. (Hemos añadido la cursiva.)

El único término objetable en el pasaje citado es «objeto atómico». El término «objeto» tiene sutiles tonalidades corpusculares que pueden ser desorientadoras, si no para el propio Frank, al menos para sus lectores. El término «suceso atómico» se halla libre de tales asociaciones desorientadoras; nos referimos a lo que hemos expuesto en el capítulo XV. La extensión de la crisis contemporánea en la física no puede abarcarse plenamente si no nos percatamos de que el propio concepto de *substancia* o *cosa* se ha hecho discutible. El término «objeto» sugiere desorientadoramente la permanencia de cierta cosa: más específicamente, una conjunción constante de propiedades observables. Pero ya sabemos que los denominados «objetos» microfísicos no son permanentes; además, *ni siquiera dentro de un solo instante* pueden caracterizarse como conjunciones de posición y velocidad. La estructura atómica de la acción, en la que muy probablemente se manifiesta el carácter pulsacional del tiempo-espacio, lo hace imposible. Digámoslo una vez más: en cuanto a la indeterminación microfísica, no tenemos el efecto perturbador de la observación para echarle la culpa, sino la propia constante de acción de Planck.

Siempre es posible esperar que los futuros descubrimientos físicos desaprueben la atomicidad de la acción, que se demuestre que la indivisibilidad de la acción es espuria y se debe exclusivamente a las presentes limitaciones de nuestra técnica de observación. ¿No ha sucedido ya varias veces en la historia de la ciencia que lo que se consideraba como límite definido y último de la naturaleza ha resultado ser por fin tan sólo un límite *temporal* alcanzado por nuestra investigación? ¿No se ha dividido por fin en sus partes componentes el denominado átomo indivisible de Dalton? ¿Podemos estar absolutamente seguros de que no existen en la naturaleza fracciones de acción inferiores a *h?*

Tal actitud, aunque teóricamente permisible, apenas puede denominarse fructuosa, y es extremadamente improbable que se cumplan alguna vez las esperanzas que suscita. Para no decir

---

[10] P. Frank, *ibid.*, p. 230.

nada de las razones epistemológicas que se discutirán más tarde, la evidencia relativa a la atomicidad de la acción es, desde un punto de vista tanto cualitativo como cuantitativo, incomparablemente más convincente que la limitada evidencia empírica del pasado siglo con respecto a la supuesta indivisibilidad del átomo de Dalton. Es apenas probable que la masa de evidencia acumulada a estas horas —a menudo a lo largo de líneas de investigación independientes y divergentes— contra la divisibilidad ulterior de la acción es o una coincidencia o un resultado de nuestras limitaciones técnicas actuales. Además, la mayoría de los que esperan explicar el principio de indeterminación como resultado de nuestras limitaciones de experimentación y observación no niegan la existencia de la constante *h*. Aparentemente no se dan cuenta de su inconsistencia. Reconocer la existencia de *h* y negar la indeterminación objetiva es tan poco consistente como reconocer la ley de Newton y negar la validez de las leyes de Kepler, que son sus consecuencias matemáticas.

La contingencia de los sucesos microfísicos.

Una breve ojeada a la *desintegración radiactiva*, ese importante grupo de fenómenos microfísicos, demostrará que: 1) las relaciones de indeterminación son independientes de la interacción entre el hecho observado y el observador, y 2) es extremadamente dudosa la cuestión de si se reducirán alguna vez a algún modelo cinético-corpuscular clásico. La característica más paradójica de la decadencia radiactiva natural no es que sea enteramente independiente de condiciones externas como la temperatura o la composición química, aunque es cierto que esta característica parecía, en el momento del descubrimiento, muy sorprendente. Claramente indicaba que la transformación radiactiva, en vez de ser un proceso químico ordinario, en el que los átomos de varios elementos conservan su identidad, es un *cambio intraatómico* en el que cambia la propia constitución de los átomos. Por sorprendente que fuese este descubrimiento después de casi un siglo de firme creencia en la inmutabilidad del átomo químico, era relativamente fácil de imaginar un mecanismo de transformación radiactiva sin que uno se desviase básicamente de los hábitos clásicos de pensamiento. Todo lo necesario era postular que los átomos, en vez de ser unidades simples e indiferencia-

das, son complejos en sí; esto, como hemos visto, ya fue anticipado por Robert Boyle [20]. Entonces es comprensible que cuando una o más partes constituyentes son expulsadas del interior del átomo, se modificarán sus propiedades físicas y químicas. Incluso el mecanismo de desintegración era fácilmente concebible, al menos en principio; el hecho de que las explosiones radiactivas se produzcan espontáneamente en los elementos más pesados, o sea, en los elementos cuyos núcleos tienen un número muy grande de partes constituyentes, aparentemente sugiere que la expulsión de partículas alfa, así como de electrones beta, es *causado* por las fluctuaciones *aparentemente irregulares* de la energía cinética interna de otras partículas constituyentes.

En este sentido, la emisión radiactiva no sería diferente en principio del proceso de evaporación, en el que, incluso a una temperatura relativamente baja, unas cuantas moléculas individuales escapan del cuerpo principal del líquido. En realidad, Isaac Newton no imaginaba el mecanismo de emisión luminosa de un modo radicalmente diferente; según él, la agitación violenta de las partículas de éter expulsa los corpúsculos de luz del interior de los cuerpos materiales [21]. De esta manera se explicaba cualitativamente la correlación entre el calor y la luz; pues Newton, siguiendo en este respecto a su compatriota Francis Bacon, consideraba el calor como movimiento de las partículas diminutas.

Pero la característica verdaderamente confusa de los fenómenos radiactivos fue el descubrimiento de que las partículas nucleares alfa son emitidas del núcleo *aun cuando no tienen velocidad suficiente para saltar la barrera potencial circundante*. Según las leyes de la mecánica clásica, ninguna partícula puede penetrar en una zona en la que la diferencia entre su energía total y su energía potencial sería negativa. La barrera potencial que rodea al núcleo representa esa «zona prohibida», donde

$$E - V < 0$$

(E = energía total, V = energía potencial de una partícula). Dentro de la estructura clásica, ésta era simplemente una declaración truística acerca de que la energía cinética de cualquier partícula no puede hacerse nunca negativa, pues esto implicaría la

[20] Capítulo VI de este volumen, nota 3.

[21] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. I, p. 21; I. Newton, *Optics*, qu. 8; B. Cohen, *Franklin and Newton*, p. 165.

consecuencia absurda de que su velocidad se haría imaginaria. Sin embargo, lo que era una pura imposibilidad física para la física clásica es considerado solamente como una *probabilidad extremadamente pequeña* por la mecánica ondulatoria. Por pequeñas que sean estas probabilidades, toman realidad en las emisiones descritas anteriormente. La insuficiencia de la mecánica clásica podría haber sido demostrada con mayor claridad. Por otra parte, la mecánica ondulatoria no sólo explica hechos inconcebibles dentro de la estructura clásica. sino que conduce a derivaciones cuantitativas correctas de varias constantes de decadencia que previamente eran aceptadas como simples datos empíricos.

El concepto de imposibilidad y el de necesidad causal se hallaban íntimamente correlacionados en el pensamiento clásico, tanto físico como filosófico; en realidad, eran aspectos complementarios de una misma afirmación ontológica. Según esta afirmación, lo que sucede *debe* suceder y lo que no sucede *no puede* suceder; no hay terreno entre la imposibilidad y la necesidad, y, por consiguiente, la posibilidad o contingencia es un mero síntoma de ignorancia humana, como ya habían acentuado Spinoza y Demócrito [22]. La sustitución del concepto de imposibilidad por el de pequeña probabilidad implicaba la sustitución concomitante del concepto de necesidad causal por el de gran probabilidad. Estas dos sustituciones correlacionadas miden la desviación de la mecánica ondulatoria respecto del necesitarismo rígido del pensamiento clásico. El concepto de posibilidad objetiva, tan resueltamente rechazado por el determinismo clásico, resurge en la física contemporánea en forma de probabilidad objetiva [23].

Esto es especialmente sorprendente en el caso concreto de la emisión radiactiva de partículas alfa. No sólo es *posible* que una partícula con insuficiente energía cinética pase a través de la pared potencial, sino que además no es *necesario* que una partícula con energía cinética suficiente salve la misma barrera. Según la mecánica clásica, las partículas del primer tipo eran *necesariamente* reflejadas de la pared potencial, mientras que las partículas del segundo tipo la salvaban *necesariamente*. No sucede así en la mecánica ondulatoria: las partículas de ambos tipos *pueden ser* reflejadas o *transmitidas* por la pared potencial nuclear, aun-

---

[22] Compárese capítulo IX de este volumen, nota 4.

[23] C. F. von Weizsäcker, *The History of Nature*, traducción de F. D. Wick (University of Chicago, 1949), p. 57; F. A. Lindemann, *op. cit.*, p. 107.

que las probabilidades correspondientes no sean iguales. Desde este punto de vista, las explosiones radiactivas son consideradas como *sucesos contingentes*, cuyo carácter de probabilidad irreducible manifiesta la indeterminación básica de las ocurrencias microfísicas.

Esto se deduce también del modo en que el principio de indeterminación de Heisenberg se aplica a este grupo particular de fenómenos. Mientras que en la física clásica salvar o cruzar la barrera potencial era un absurdo manifiesto, el principio de Heisenberg, aplicado aquí, nos proporciona cierta intuición explicatoria, aunque la paradoja, por las razones que expondremos más tarde, no desaparece enteramente. Ambas formas del principio de incertidumbre conducen a una explicación plausible de lo que se llama «efecto de túnel». Utilizando la primera forma del principio

$$\triangle p \cdot \triangle x \geqq h$$

vemos que si la incertidumbre concerniente al momento es suficientemente pequeña, la incertidumbre relativa a la posición de una partícula es tan grande que puede ser localizada a uno u otro lado de la pared potencial. Se puede demostrar que tal caso ocurre cuando la anchura de la barrera potencial es del mismo orden que la longitud ondulatoria de De Broglie. Pero si la partícula se halla presente en el lado de fuera de la barrera, entonces, según los físicos, «tendríamos que considerarla como si hubiese pasado con éxito a través de la barrera» [24]. Si aplicamos la segunda forma del principio de Heisenberg

$$\triangle E \cdot \triangle t \geqq h$$

entonces, con respecto a una cantidad suficiente de tiempo, la incertidumbre de la energía es tan grande que existe una probabilidad finita de que la energía E de la partícula pueda rebasar la altura de la pared potencial.

Por cualquiera de estas dos presentaciones se puede ver claramente que el principio de incertidumbre no depende en modo alguno de la exactitud de la medición [25]. No hay intervención de un observador en el caso de las explosiones radiactivas que se

---

[24] Compárese nota 29 de este capítulo.

[25] W. FINKELBURG, *Atomic Physics* (Nueva York, McGraw-Hill, 1950), p. 236.

producen espontánea e independientemente de factores extranucleares. La función del observador humano es aquí pasiva; se reduce a contar las partículas en cierto intervalo de tiempo y a medir su energía *después* de su emergencia del núcleo. Es cierto que incluso este papel aparentemente pasivo significa una intervención en el proceso físico observado; así el cómputo de las partículas emitidas es imposible sin emplear un espintariscopio o contador Geiger, y a estos procedimientos de observación se aplica todo lo que manifestó Heisenberg en su formulación original del principio. Pero esta intervención evidentemente no se produce *después* del suceso, o sea, después de haber tenido lugar la explosión radiactiva. Así la incertidumbre de las desintegraciones radiactivas es independiente de las limitaciones de la técnica experimental humana; el término «indeterminación» o «contingencia» es mucho más adecuado y mucho menos desorientador que «incertidumbre».

Los fenómenos de la radiactividad no son los únicos que apoyan esta interpretación objetivista del principio de indeterminación. Los hechos de radiación pertenecen a la misma categoría. En los términos del modelo de Bohr, la emisión de fotones se produce cuando un electrón retorna de una órbita exterior a otra interior; entonces la energía del *quantum* de luz emitido es igual a la diferencia de energía entre el nivel superior de energía y el nivel del estado base. Teniendo en cuenta la insuficiencia del modelo corpuscular del átomo, es más adecuado decir que la emisión de los *quanta* de luz se produce cuando el átomo retorna de su estado «excitado» (o sea, energéticamente más rico) a su estado «base» (o sea, normal). Así es evidente que la presencia de un estado «excitado» es una condición necesaria para la emisión de luz; un átomo debe absorber primero alguna energía excedente para radiarla en forma de fotón. Pero esta absorción de energía *no es la causa* de la emisión subsecuente, aunque es una *condición* necesaria para ella; un retorno espontáneo del átomo a su estado normal con una emisión concomitante de radiación tiene un carácter no menos estadístico que una explosión radiactiva. (Esta analogía entre la emisión luminosa y la desintegración radiactiva fue observada —cosa interesante— por el propio Einstein, que, no obstante, continuó siendo adversario del indeterminismo microfísico.)[26].

[26] *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, pp. 172-173, 205.

Ni el modelo de Bohr ni el modelo mecánico-ondulatorio posterior proporcionan la explicación causal de los «saltos de *quantum*» que corresponden a la emisión de radiación. En la época del modelo de Bohr los físicos solían decir que un electrón retorna «espontáneamente» a su órbita inferior, sin especificar la causa de ello. Aunque el balance energético total se hallaba de acuerdo satisfactorio con el principio de conservación de energía, *el mecanismo de la emisión* seguía siendo enteramente nuclear. La mecánica ondulatoria meramente enfocaba el carácter indeterminado y estadístico de la emisión luminosa, así como de las explosiones radiactivas. Allá por 1929, Pascual Jordan [27] hablaba del «carácter radiactivo» de la emisión luminosa cuando señaló que la existencia de los denominados «estados metaestables» establecía el carácter indeterminado de la emisión de luz. Pues en los estados metaestables un átomo *persiste* en su estado excitado mucho más tiempo que en la mayoría de los casos; mientras que, en la mayoría de los casos, la vida de los átomos excitados no es superior a 10^{-8} segundo, en los estados metaestables puede durar 10^{-2} o incluso un segundo. Parece que no hay necesidad inmediata para el retorno de un átomo excitado a su nivel suelo, o, si se emplea el lenguaje corpuscular del modelo original de Bohr, para el retorno de un electrón a su órbita interior original. La analogía entre las diferentes vidas de los núcleos radiactivos y las diferentes vidas de los «átomos excitados» es muy conspicua, y la sospecha de Jordan acerca del «carácter radiactivo» de la emisión luminosa se halla muy justificada.

Por otra parte, los oponentes del indeterminismo microfísico siempre pueden afirmar que no se ha dicho todavía la última palabra y que aún persiste la posibilidad de una interpretación determinista. En el caso de las explosiones radiactivas, parece ser especialmente plausible creer en la existencia de causas ocultas que de vez en cuando originan la expulsión de partículas alfa de los núcleos. Como ya hemos dicho, el propio hecho de que la radiactividad espontánea se produzca únicamente en los propios núcleos complejos de los átomos pesados parece justificar la creencia de que cada emisión particular es causada por una fluctuación momentánea de la energía cinética interna de las partes constituyentes. Así el denominado «efecto de túnel» no sería, hablando

---

[27] P. Jordan, "Die Erfahrungsgrundlagen der Quantentheorie", *Naturwissenschaften*, vol. XVII (1929), p. 504.

con propiedad, un efecto de túnel en absoluto; una partícula no cruzaría la «zona prohibida» con energía cinética insuficiente, sino que la *escalaría*, teniendo, por feliz coincidencia, una cantidad suficiente de energía para hacerlo. Los términos utilizados por los físicos nucleares contemporáneos —como «calentamiento del núcleo» y «evaporación de nucleones del núcleo»— están preñados de clásicas asociaciones cinéticas y, por consiguiente, deterministas. Esta es la base de todas las esperanzas de localizar a nivel *subcuántico* las «variables ocultas» que determinan los fenómenos cuánticos. Desde este punto de vista, las «fluctuaciones irregulares» de la energía de las partículas alfa, que conducen a su emisión o a su reflexión sobre la pared potencial, tan sólo son *aparentemente* irregulares; son análogas a las irregularidades aparentes del movimiento browniano. Como oponente contemporáneo del indeterminismo microfísico dice:

Hasta aquí, en la física (como en otros campos), cuando uno había encontrado una fluctuación estadística irregular en la conducta de los miembros individuales de un agregado, suponía que estas fluctuaciones irregulares tenían también causas que, sin embargo, eran aún desconocidas, pero que con el tiempo podrían ser descubiertas. Así, en el caso del movimiento browniano, se estableció el postulado de que los movimientos irregulares visibles de las partículas de espora tenían su origen en un nivel más profundo, pero todavía invisible, del movimiento atómico. De aquí que *todos* los factores que determinan los cambios irregulares del movimiento browniano no fueran supuestos como existiendo al nivel del propio movimiento browniano, sino que más bien se suponía que la mayoría de ellos existían al nivel de los movimientos atómicos. Por tanto, si estudiamos el nivel del propio movimiento browniano, sólo es de esperar que tratemos, en general, de las regularidades estadísticas, pero no estará completo este nivel para un estudio de los detalles exactos del movimiento. De manera análoga, se podría suponer que, en su estado presente de desarrollo, la teoría cuántica tampoco es lo bastante completa para tratar de todos los detalles exactos de los movimientos del electrón individual, los *quanta* de luz, etc. Para tratar de tales detalles tendríamos que trasladarnos a un nivel más profundo y todavía desconocido, que tenga la misma relación con el nivel atómico que el nivel atómico con el del movimiento browniano [28].

Lo que incrementa la plausibilidad de esta manera de considerar el asunto, aparte de la actitud filosófica general que se

[28] D. BOHM, *op. cit.*, pp. 79-80. Una actitud reservada, pero neutral en general, hacia la idea de BOHM es adoptada por N. R. HANSON en *Patterns of Discovery* (Cambridge University Press, 1958), pp. 172-175.

halla inconsciente o semiconscientemente presente, es el lenguaje peculiar de incluso los que apoyan la interpretación indeterminista. Hemos visto que los términos «corpúsculo», «energía», «velocidad» y «posiciones» abundan en los textos relacionados con las aplicaciones del principio de indeterminación a los fenómenos radiactivos, aunque en virtud del mismo principio estos términos pierden su significado. Así podemos encontrar el siguiente pasaje en un libro de texto de física nuclear:

> *Una partícula no puede localizarse con mayor precisión que su longitud de onda De Broglie dividida por* 2π. En el presente caso, si la anchura de la barrera a es comparable o inferior a $\lambda/2\pi$, no podemos decir si una partícula cuyo momento es $p = h/\lambda$ se encuentra al lado derecho de la barrera o al lado izquierdo. Pero si la partícula se encuentra al lado derecho de la barrera, tendríamos que considerarla como habiendo pasado con éxito a través de la barrera [29].

En contra de la intención del autor, la impresión de este pasaje es desorientadora en varios aspectos. Las palabras «no podemos decir...» expresan la impresión de que la incertidumbre de la cuestión es simplemente subjetiva; mientras que la oración final presupone: *a)* que las partículas preexistían en el núcleo y *b)* que se movía a lo largo de una trayectoria continua a través de la «zona prohibida».

El supuesto *a)* es discutible. Como observó Schrödinger, ninguna partícula puede ser observada más de una vez [30]; lo que realmente observamos son dos *sucesos* diferentes, a los que unimos mediante la imagen de un corpúsculo que persiste a través del tiempo. Pero esto, como observó Lindemann, es «una simple concesión a nuestros hábitos, para no decir debilidades» [31]. No será preciso repetir lo que ya se ha dicho acerca de la no permanencia de las «partículas» microfísicas y de su carácter de apariencia de suceso. En el caso particular de la emisión radiactiva las partículas *dentro* del núcleo no pueden ser observadas en principio sin partir el núcleo; su existencia dentro del núcleo *se supone* únicamente para satisfacer nuestro modo substancialista de pensamiento. Además, en el caso de la emisión de electrones beta, se puede *demostrar* que es imposible suponer su preexistencia

[29] R. D. Evans, *The Atomic Nucleus* (Nueva York, McGraw-Hill, 1955), p. 61.
[30] E. Schrödinger, *What is Life? and Other Scientific Essays* (Garden City, Doubleday, 1958), p. 175.
[31] F. A. Lindemann, *op. cit.*, p. 88.

dentro del núcleo [32]. Según Niels Bohr, las partículas beta *se crean* en el proceso de emisión, lo mismo que los fotones se crean en el acto de su propia emisión. Aunque la preexistencia de las partículas alfa en el núcleo no se puede negar cabalmente como la de los electrones beta, se hace extremadamente dudosa una vez que nos percatamos de la insuficiencia general de los modelos corpusculares en la microfísica.

El supuesto *b)*, como ya hemos indicado (pág. 309), es claramente imposible; postular la continuidad espaciotemporal de la trayectoria a través de la «zona prohibida» equivale a la afirmación de la velocidad imaginaria. Esto no tiene sentido, a menos que afirmemos que sólo nos interesa el simbolismo matemático y no su interpretación pictórica. Pero esta afirmación significaría el abandono de todos los intentos de construir un modelo corpuscular, y, por consiguiente, también el abandono de la creencia en la preexistencia de las partículas dentro del núcleo. Pues la continuidad de la trayectoria garantiza, por decirlo así, la identidad de la partícula a través del tiempo; no podemos tener una sin la otra.

Pero los oponentes del indeterminismo microfísico protestarían ciertamente contra tal identificación de su posición con el esquema cinético-corpuscular de la naturaleza. Probablemente acentuarían el hecho de que, a pesar de la asociación histórica original con el atomismo, el determinismo físico es un concepto mucho más amplio y que su último destino no guarda relación con el del concepto de corpúsculo. Probablemente señalarían que ya en el siglo pasado se aflojaban los lazos entre el determinismo y la idea corpuscular, cuando las teorías de campo, que eran tan deterministas como el atomismo clásico, empezaron a penetrar primero en los dominios de la óptica, la electricidad y el magnetismo, y finalmente en todo el reino de la física.

Pero, a pesar de las apariencias, la oposición entre las teorías corpusculares y de campo acerca de la materia era más superficial que básica, y ambas pertenecían a la misma tradición clásica. Hemos visto que, aunque las teorías de la fluidez de la materia desde Descartes a William Thomson disolvieron aparentemente los contornos de los átomos en la continuidad universal del medio cósmico, permaneció abierto el interrogante de si el

---

[32] R. D. Evans, *op. cit.*, cap. VII, p. 276 (acerca de la no existencia de los electrones nucleares).

éter o el propio campo es continuo o atómico; y también que las mentes más consistentes preferían implícitamente la segunda alternativa. Así el atomismo reapareció en una escala de magnitud más pequeña cuando las «partículas de éter» sustituyeron a los electrones y protones. Pero aun cuando el radio de las «partículas de éter» fue reducido a cero y el éter se hizo así continuo en el sentido matemático de la palabra, la creencia en la discontinuidad básica de la naturaleza se vio más obscurecida que abandonada. Pues la continuidad matemática, siendo simplemente un término diferente que designa divisibilidad infinita, es, como reconocieron pensadores tan distintos como Poincaré, Bergson, Weyl y Cassirer [33], una *discontinuidad disfrazada;* el concepto de elemento concreto se retiene aun cuando su tamaño es reducido a cero.

Desde este punto de vista podemos afirmar que el dilema de la «continuidad frente a la atomicidad» nunca existió realmente en la física clásica: hablando filosóficamente, Descartes, Leibniz, Boscovich, Kant y Faraday eran tan atomistas como Gassendi, Dalton y Lorentz. Desde las mónadas de Pitágoras y los átomos de Demócrito hasta los centros de fuerza semejantes a puntos y los elementos de campo semejantes a puntos, la ruta era larga y tortuosa; pero básicamente era una misma ruta que conducía a la idea de la naturaleza como compuesta de unidades mutuamente externas, aun suponiendo que estas unidades existían en número infinito dentro de los intervalos más pequeños de espacio y tiempo. Este concepto de «continuidad» espaciotemporal, o si preferimos una palabra menos desorientadora, de divisibilidad infinita de la naturaleza en el espacio y el tiempo, es la *propia base* del determinismo clásico y —lo que es aún más importante— sigue siendo la base de las interpretaciones neodeterministas de la microfísica contemporánea.

Esto quedará claro cuando consideremos brevemente a los dos oponentes más famosos del determinismo físico: Albert Einstein

---

[33] H. POINCARÉ, *La Science et l'hypothèse* (París, 1909), p. 30: "De la célèbre formule, le continu est l'unité dans la multiplicité, la multiplicité seule subsiste, l'unité a disparu". Compárese H. WEYL, "Das Kontinuum", en *Kritische Untersuchungen über die Grundlagen der Analysis* (Leipzig, 1918): "im 'Kontinuum' der reelen Zahlen in der Tat die einzelne Elemente so insoliert stehen, wie etwa die ganze Zahlen". Acerca de la discrepancia del *continuum* intuitivamente dado y el *continuum* matemático: H. BERGSON, *Creative Evolution,* p. 170; F. CASSIRER, *Determinism and Indeterminism in Modern Physics,* traducción de O. Th. Benfey (Yale University Press, 1956), p. 170.

y Louis de Broglie. El caso de De Broglie es especialmente sorprendente porque su presente posición determinista es resultado de una reciente conversión, o más bien reconversión a su idea original, de la que se había apartado veinticinco años antes. Por otra parte, Einstein mantuvo su actitud hacia el contingentismo físico contemporáneo de una manera consistente a través de toda su vida. La idea de la realidad que tanto Einstein como De Broglie prefieren pertenece a la *tradición cartesiana* en la física y la filosofía de la ciencia. El propio L. de Broglie lo concede implícitamente y ve la faceta más prometedora de su teoría en un retorno a la claridad cartesiana *(clarité cartésienne)* [34]. Recordemos brevemente las facetas más importantes de la tradición cartesiana en la física y en la filosofía de la ciencia tal cual se puede seguir desde Descartes hasta William Thomson. Se caracteriza por la persistente tendencia a eliminar o al menos a borrar cualquier distinción acentuada entre los cuerpos materiales y el espacio que los rodea. Según Descartes, la materia, siendo idéntica al espacio, debe compartir con el espacio su continuidad matemática; por esta razón, no puede haber átomos. Por otra parte, el espacio, identificado con la materia, debe compartir con la materia su impenetrabilidad; por esta razón, el vacío es imposible. Esto condujo a Descartes y a sus seguidores a considerar lo que llamamos «partículas materiales» como simples complicaciones del líquido etéreo que se esparce por doquier. No es preciso repetir lo que ya se ha dicho en la primera parte de este libro y enumerar todas las dificultades que tuvo que afrontar una empresa tan ambiciosa. Recordemos solamente que la dificultad básica de reconciliar la existencia del *plenum* con la del movimiento no fue nunca vencida ni por Descartes ni por sus seguidores. Se vieron obligados a admitir explícitamente o de un modo disfrazado la existencia del vacío, inintencionadamente de acuerdo con la hipótesis atómica rival [35].

La razón básica de que Descartes y su escuela no tuviesen éxito en su empresa está ahora clara: sólo conocían la forma euclidiana del espacio, que por su naturaleza es homogéneo y rígido, y por esta razón no se puede confundir con su contenido físico, que es diverso y variable. En este respecto, Einstein se

---

[34] L. de Broglie, "La physique quantique restera-t-elle indéterministe?", *Bulletin de la Societé française de Philosophie*, séance du 25 avril 1953; el mismo autor, *Nouvelles perspectives en microphysique*, pp. 187-188.

[35] Compárese capítulo VII, pp. 108-116.

hallaba en una posición más favorable, porque tenía instrumentos intelectuales más flexibles a su disposición. Su *continuum* no euclidiano, que posee curvatura diferente en diferentes lugares y que varía de un instante a otro, simula tan bien las propiedades del contenido físico diverso y variable que no se puede diferenciar de él. En este sentido, la teoría general de la relatividad puede ser considerada como continuación de la tendencia cartesiana a fusionar el espacio y la realidad física en una sola entidad. A decir verdad, la teoría general de la relatividad de Einstein es cartesiana únicamente en un sentido muy especial; pues no sólo son descartados el carácter euclidiano y su homogeneidad, sino que el espacio se fusiona con el tiempo; así es más correcto hablar de la *fisización* o *dinamización* del espacio que de la geometrización de la materia y el tiempo [36].

Sin embargo, hay otra faceta en la teoría general de la relatividad de Einstein que es más claramente cartesiana y, por tanto, más claramente tradicional. Esta es la hipótesis de la continuidad matemática del espacio, el tiempo y la materia. De esto se deduce otra afirmación típicamente cartesiana: que el *continuum* espaciotemporal en virtud de su divisibilidad infinita no puede contener individualidades reales, *indivisibilia*, en el sentido etimológico de la palabra. Einstein era demasiado cauteloso para negar la existencia de las partículas físicas. Condenó a Ernst Mach por su oposición al atomismo [37]. Pero desde la época de su teoría general de la relatividad se inclinaba a interpretar la existencia de las partículas como simples complicaciones estructurales que surgen dentro de la continuidad del espacio-tiempo. En otras palabras, consideraba las «partículas» como meras anomalías del campo físico continuo. Es este último el que constituye la realidad básica; su discontinuidad aparente es explicable en términos de su estructura continua. Este convencimiento básico explica la persistente búsqueda por parte de Einstein de la teoría del campo unitario en la que se incorporarían todas las diferentes manifestaciones de la realidad física, incluyendo la gravitación y el electromagnetismo. También explica su firme esperanza de que el determinismo riguroso del tipo clásico se restaure finalmente en la microfísica. Pues si la discontinuidad de los fenómenos de

---

[36] Compárese capítulo XI de este volumen, nota 31.

[37] Compárese *Bulletin de la Societé française de Philosophie,* séance du 6 de avril 1922, p. 112.

quantum es sólo una apariencia derivable de la estructura continua del campo unitario, entonces el indeterminismo microfísico es también únicamente aparente, porque el principal argumento en su favor —la indivisibilidad de la acción— cae por tierra.

En otras palabras más técnicas, según Einstein, toda la realidad física, incluyendo los corpúsculos, debe ser descrita mediante las ecuaciones diferenciales parciales del campo unitario. Las soluciones de estas ecuaciones deben estar libres de singularidades, las cuales corresponderían a la *existencia de las fuentes* dentro del campo. Tales fuentes significarían un retorno disfrazado a la dualidad de corpúsculos-campo que resueltamente rechaza Einstein. La existencia de las fuentes significaría la introducción de factores que son extraños a la estructura del campo, y la integridad de la descripción se vería en peligro.

Las sobresalientes facetas de la idea de Einstein se destacarán si la comparamos con la idea de Hermann Weyl. Según Einstein:

> La materia que percibimos no es nada más que una gran concentración de energía en regiones muy pequeñas. Por tanto, podemos considerar la materia como constituida por las regiones del espacio en que el campo es extremadamente intenso. ...No hay lugar en este nuevo tipo de física para el campo y la materia, *pues el campo* es la única realidad [38].

Desde este punto de vista, el electrón representa esa región del campo electromagnético donde la intensidad del campo es incomparablemente mayor que en sus inmediaciones; pero, según Einstein, las mismas ecuaciones del campo (aunque ciertamente más complejas que las ecuaciones clásicas de Maxwell) son válidas también *dentro* del electrón.

Según Weyl, que en este respecto se hallaba probablemente inspirado por Riemann [39], los electrones están constituidos por los *huecos* del campo espaciotemporal. Por esta razón, no tiene sentido hablar de regiones *dentro* del electrón. Además, estos huecos son las *fuentes* del campo, las fuentes que producen el campo *según las leyes estadísticas solamente.* Weyl restauró así la dualidad de materia y campo. Mientras que el campo representa la región de las acciones físicas continuas y estrictamente determi-

---

[38] Citado por Louis de Broglie, *Nouvelles perspectives en microphysique*, pp. 187-188.

[39] Compárese capítulo XIII de este volumen, nota 16.

nadas, la materia representa un agente productor de campo (*das Feld-erregende Agens*) esencialmente discontinuo y minado en sus manifestaciones. De este modo, Weyl trató de hacer justicia a los fenómenos cuánticos [40].

La oposición de Einstein a la idea de Weyl se basaba en una adhesión estricta a la idea del campo unitario omnímodo libre de discontinuidades, así como de singularidades, cuyos cambios se pueden describir por medio de ecuaciones diferenciales parciales. Esta es otra ilustración de cómo son prácticamente inseparables el determinismo estricto y el concepto de continuidad espaciotemporal.

La profunda afinidad entre la teoría del campo unitario de Einstein y las diferentes teorías que tratan de restaurar el determinismo en la microfísica introduciendo «parámetros ocultos» es inequívoca, aunque probablemente se presentará con mayor claridad a un futuro historiador de ideas científicas. Aun hoy no es difícil ver que las diferentes «teorías de parámetros ocultos» son una especie de teorías del campo unitario, con las que comparten dos supuestos básicos: el determinismo y la continuidad espaciotemporal. En la interpretación original de la mecánica ondulatoria de De Broglie las partículas eran consideradas como regiones del campo ondulatorio continuo, en el que la amplitud era considerablemente mayor que en las regiones circundantes. Es significativo que en 1927 Einstein animara a De Broglie a persistir en su búsqueda de una interpretación determinista a pesar del primer intento fracasado de De Broglie en esta dirección [41].

Pero, por entonces, Louis de Broglie no siguió el consejo. Durante veinticinco años adoptó la idea indeterminista de Heisenberg, Born, Bohr y la mayoría de los físicos. No hace aún muchos años consideraba todavía como «definitiva» su conversión al indeterminismo [42]. Una de las razones de su desacuerdo con Einstein era su observación correcta acerca de que la teoría general de la relatividad es una teoría macroscópica y no puede tratar adecuadamente de la discontinuidad básica de los fenómenos cuánticos, que pueden ser desconsiderados a escala macroscópi-

---

[40] H. WEYL, *Was ist Materie?*, p. 84; compárese también su *Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft* (München y Berlín, 1927), pp. 132-134.

[41] L. DE BROGLIE, *op. cit.*, p. 236.

[42] L. DE BROGLIE, "Souvenirs personnels sur les débuts de la mécanique ondulatoire", *Revue de métaphysique et de morale*, 48e année (1941), pp. 1-23; reimpreso en *Physique et microphysique* (París, 1947), especialmente pp. 181-190.

ca [43]. Pero cuando en 1951 David Bohm reanudó los esfuerzos originales de De Broglie por construir un modelo hidrodinámico de la mecánica ondulatoria, y cuando un poco después Jean Pierre Vigier llamó la atención de De Broglie hacia la analogía entre su hipótesis original en 1927 y la teoría general de la relatividad, cambió radicalmente la situación y llegó el momento de la segunda conversión [44].

Esta segunda conversión de De Broglie fue más bien una reconversión a su determinismo original de 1927, y ciertos motivos filosóficos desempeñaron en ella un papel mucho mayor que los hechos experimentales. La nostalgia de De Broglie por la claridad cartesiana acaba de ser mencionada. Es apenas sorprendente que él también retornase a la idea de localización precisa de los corpúsculos y a la opinión de que las relaciones de incertidumbre representan un *mero aspecto superficial* de la realidad física. Los corpúsculos son para él, como para Einstein, *productos del campo*, y en su teoría sus movimientos son guiados por el campo ondulatorio tan inequívocamente como se determinan en la teoría general los movimientos de las «partículas» (o sea, anomalías locales del campo). Desde este punto de vista la atomicidad de la acción y la indeterminación que implica, en vez de ser una última faceta de la realidad, debe ser un *epifenómeno* producido por mecanismos ocultos cuya naturaleza no difiere básicamente de los mecanismos de la física clásica. Creer otra cosa sería sacrificar los dos dogmas más predilectos del pensamiento clásico: la continuidad espaciotemporal y el determinismo [45].

Es la lealtad a estos dos dogmas la que hace que sea tan sospechosa la oposición al indeterminismo microfísico. Es difícil no ver la analogía entre la «teoría de parámetros ocultos» y las hipótesis *ad hoc* que fueron postuladas a fin de explicar de un modo clásico el resultado negativo del experimento de Michelson; la resistencia a abandonar el concepto de espacio absoluto era entonces tan fuerte como es ahora la resistencia a abandonar el determinismo estricto [46]. La resistencia al indeterminismo de cual-

---

[43] L. DE BROGLIE, *Matière et lumière* (París, 1937), pp. 234-235.

[44] L. DE BROGLIE, *Nouvelles perspectives en microphysique*, pp. 199-200.

[45] L, DE BROGLIE, *op. cit.*, pp. 220-226. D. Bohm es únicamente consistente cuando espera que en el nivel subcuántico más profundo se descubra que son todavía divisibles los denominados "átomos de energía". Esta es otra ilustración de la íntima conexión entre el determinismo clásico y el dogma de la continuidad espaciotemporal (*Op. cit.*, p. 81).

[46] Capítulo X, especialmente pp. 146-149.

quier tipo se ve especialmente fortalecida por el supuesto equivocado de que *cualquier* desviación del determinismo clásico, por ligera que sea, significa el fin de la posibilidad de *cualquier* descripción racional del mundo y, por consiguiente, un suicidio de la razón.

Dentro de poco volveremos a este punto; de momento, tengamos presente la conclusión de nuestra discusión previa, que se vio simplemente fortalecida por nuestro análisis de las ideas de Einstein y de las de De Broglie: el concepto de continuidad espaciotemporal es *la propia base* del determinismo clásico y cualquier amenaza a esta base es una amenaza al propio determinismo. C. S. Peirce reconoció esto poco antes de comenzar la crisis contemporánea, cuando escribió:

> Pues la esencia de la posición necesitarista es que ciertas cantidades continuas tienen ciertos valores exactos. Ahora bien, ¿cómo por medio de la observación se puede determinar el valor de tal cantidad con un probable error de *cero* absoluto? [47].

Hoy formularíamos la anterior pregunta del modo siguiente: ¿Cómo puede determinar la observación tales cantidades si no existen en la naturaleza *valores definidos* y si todo el concepto de divisibilidad infinita de espacio y tiempo es una extrapolación sin garantía de nuestra limitada experiencia macroscópica?

La insuficiencia de la idea cuantitativa de la naturaleza.

Hablar a nivel microfísico de los valores precisos de la energía es tan disparatado como hablar de posiciones y velocidades bien definidas de las denominadas partículas. Esto se deduce de la segunda forma del principio de indeterminación de Heisenberg (véase pág. 290). Pero si esto es así, ¿tiene todavía algún sentido hablar de la ley de conservación de energía a nivel microfísico? Es evidente que no. Como Louis de Broglie observó en fecha tan temprana como la de 1929 [48], el único modo de considerar cons-

---

[47] C. S. Peirce, "The Doctrine of Necessity Examined", *The Monist*, vol. 2 (1892-93); reimpreso en *Collected Papers of C. S. Peirce*, editado por C. Hartshorne and P. Weiss, vol. VI, p. 35.

[48] L. de Broglie, "Déterminisme et causalité dans la physique contemporaine", *Revue de métaphysique et de morale*, année 38 (1929), p. 442: "Attribuer aux

tante la energía es asignarla un valor bien definido; la constancia de la energía significa siempre *constancia de cierta cantidad* de energía. Sin embargo, es precisamente esta cantidad la que, según la segunda forma del principio de Heisenberg, permanece mal definida, o sea, retiene un vago límite que, aunque despreciable a nivel macroscópico, no puede ser desconsiderado al nivel de los procesos microfísicos. La existencia de este límite vago nos impide afirmar una validez absoluta para la ley de conservación de energía, aun si el concepto tradicional de energía se enmienda en el sentido relativista.

Esta consecuencia negativa del principio de indeterminación rara vez se encuentra formulada explícitamente. Por lo común, se hace *la propia afirmación opuesta*, o sea, que la validez de las leyes de conservación ha sido verificada incluso a nivel microfísico [40]. En este respecto, los textos de física atómica son de espíritu más spenceriano que lo que creen sus autores. La interpretación errónea se debe a nuestro uso continuado del término «energía», aun cuando este concepto carece de significado inteligible a escala de los sucesos subatómicos individuales. He aquí otro ejemplo de una extrapolación ilegítima de conceptos macroscópicos al microcosmos, o si preferimos un punto de vista psicológico, otro ejemplo de nuestra inercia semántica y mental que nos impide desembarazarnos de conceptos tradicionales. El concepto de energía es uno de los muchos conceptos tradicionales cuyo reino de aplicación no se extiende por debajo de los límites inferiores de la zona de dimensiones medias. Con palabras de Lindemann:

> Afirmamos que la energía es un concepto tan estadístico como la temperatura. No tiene sentido a menos que se conozca su promedio durante un tiempo definido, lo mismo que la temperatura no tiene sentido a menos que se conozca su promedio a través de un número considerable. De igual manera que las fluctuaciones de la energía se llamarían fluctuaciones de temperatura, si uno diese algún sentido a este término en relación con una partícula individual, se podría hacer referencia a las fluctuaciones de energía en una partícula individual

---

corpuscules une énergie bien determinée est la seule manière de pouvoir appliquer le principe de la conservation de l'énergie".

[40] L. Goldstein, *Les théorèmes de conservation dans la théorie des chocs electroniques* (Paris, Actualités Scientifiques et Industrielles, núm. 70, 1932); W. Finckelburg, *op. cit.*, pp. 279-280. Aún más instructivo es el caso de Ernst Cassirer, que, mientras acentúa el hecho de que el concepto de energía pierde su significado a nivel microfísico, todavía afirma que la ley de conservación de energía sigue siendo válida en él. Compárese *Determinism and Indeterminism*, pp. 117, 191.

no afectada por ninguna fuerza externa. Durante el tiempo t el valor medio de desviación sería h/t [50].

En otras palabras: hablar de una cantidad definida de energía dentro de una sola ocurrencia subatómica encierra tan escaso sentido como hablar de la temperatura de una molécula individual de gas.

El pasaje citado es interesante en otro respecto; aunque rechaza sin ambigüedades la suficiencia del concepto de energía a escala microscópica (o, más bien, *microcrónica)*, al mismo tiempo exhibe la extremada dificultad de expresar esta repulsa en un lenguaje libre del propio término que se rechaza. Si continuamos utilizando el término «energía», entonces el principio de indeterminación nos obliga a hablar de «fluctuaciones de energía». Entonces nos enfrentamos con el siguiente dilema: o estas «fluctuaciones» son *causadas*, y entonces volvemos al determinismo clásico; o podemos decir, como indica Lindemann, que las cantidades energéticas microfísicas fluctúan espontáneamente, o sea, *sin causa*, alrededor de ciertos valores medios. La primera alternativa se ve favorecida por Einstein, De Broglie, Bohm y Vigier; desde su punto de vista, las explosiones radiactivas son *sucesos determinados* cuyos mecanismos se nos escapan simplemente a causa de su complejidad. Más específicamente: las partículas alfa pueden abandonar el núcleo *únicamente* porque poseen en el momento de su eyección energía suficiente para escalar la pared potencial; y tienen esta energía suficiente *únicamente* porque su energía normalmente baja se ve momentáneamente incrementada por colisiones intranucleares. Este es un modelo corpuscular y determinista de la emisión radiactiva; no es preciso repetir la crítica que ya hemos dado de él. Pero si nos pronunciamos en favor de la segunda alternativa, entonces defendemos un contingentismo de un tipo casi milagroso; pues admitimos la existencia de fluctuaciones de energía *sin causa.*

Sin embargo, existe un *tercer camino*, sugerido aparentemente por el propio Lindemann cuando muestra su insatisfacción con las dos alternativas consideradas anteriormente. Los cuernos de nuestro dilema tienen dos facetas en común: 1) coinciden en asignar valores *definidos* a las energías microfísicas; en otras palabras, coinciden en que el concepto de energía sigue teniendo

---

[50] F. A. Lindemann, *op. cit.*, p. 109.

sentido a nivel subatómico; 2) coinciden en que las fluctuaciones de las energías microfísicas son *cambios reales*, incrementos o decrecimientos de energía, o sea, transiciones reales de un valor definido a otro. Divergen en un punto importante: la cuestión de si son causadas o no estas fluctuaciones. Los deterministas en su afirmación siguen siendo leales al espíritu de Demócrito, Newton, Laplace y Spencer. Los indeterministas, oponiéndose a esta afirmación, pero reteniendo los valores definidos de las cantidades microfísicas, admiten implícita o explícitamente la posibilidad de creación o destrucción absoluta de la energía. Son pocos sus antepasados intelectuales: en la antigüedad, Lucrecio, con su idea de *clinamen;* en la era moderna, Renouvier, con su afirmación de la posibilidad de «principios absolutos» en la naturaleza.

Hay dos desventajas evidentes en este tipo de indeterminismo: 1) es *absoluto*, o sea, aceptando la *creatio ex nihilo*, no sólo niega el tipo de causalidad de Laplace, sino *cualquier* tipo de conexión entre los sucesos pasados y presentes; 2) rechaza el determinismo a la vez que retiene toda su estructura conceptual. Esto era especialmente obvio en el caso de Lucrecio, cuya «desviación espontánea» es claramente un elemento extraño, injertado incongruamente en su sistema de otro modo enteramente mecanicista. Y la posición de los que aceptarían las fluctuaciones de energía sin causa no sería esencialmente distinta de la de su predecesor romano; no sólo sería su indeterminismo igualmente absoluto y, por tanto, igualmente irracional, sino que seguiría siendo igualmente incongruo con la parte restante de su estructura conceptual. Esta incongruencia nacería de su intento de retener el concepto tradicional de energía, cuya constancia se niega al mismo tiempo.

Es importante acentuar que tal indeterminismo absoluto, por paradójico que parezca, es tan incompatible con la interpretación objetivista del principio de indeterminación como el determinismo absoluto del tipo clásico. El contingentismo absoluto coincide con el determinismo absoluto en que hay cantidades bien definidas de energía a nivel microfísico, aun cuando no podamos medirlas con exactitud. No obstante, si el concepto de energía es inaplicable al microcosmos, no tiene sentido hablar de su cantidad definida, ya la consideremos como constante o como cambiando abruptamente y sin causa de un valor definido a otro. Si admitimos el carácter objetivo de la indeterminación microfísica, entonces la idea de *creación* o *destrucción* de energía *es*

tan ilegítima como su constancia por la simple razón de que el propio concepto de *cantidad de energía* pierde su significado macroscópico clásico. Hemos expuesto las razones que sugieren que el concepto de *cantidad de cualquier tipo* pierde su suficiencia a nivel subatómico.

¿Cuál sería entonces ese tercer camino que Lindemann sugiere meramente, sin llegar a elaborarlo? Tal solución sería de algún modo intermedia entre el determinismo clásico intransigente y el contingentismo igualmente intransigente del tipo absoluto y milagroso. Admitimos que las palabras «de algún modo intermedia» son insatisfactoriamente vagas. Pero podemos captar de manera preliminar su significado positivo exponiendo una vez más su significación negativa. La falacia común al determinismo estricto de Laplace y a su negación no menos radical *es la idea cuantitativa de la realidad*. El convencimiento de que la realidad física puede ser considerada como cantidad substancial constante que persiste a través del tiempo era el *leitmotiv* del pensamiento clásico, tanto filosófico como científico, como Emile Meyerson estableció en sus obras. En la filosofía inspiró la búsqueda del último substrato invariable que subyace en todos los cambios fenoménicos aparentes; en la ciencia halló su expresión en la formulación de las *leyes de conservación:* primero la ley de la conservación de materia, y más tarde la ley de la conservación de energía, de momento, de carga. La afinidad entre las diferentes substancias filosóficas y las diferentes cantidades físicas constantes, ya sea de materia o de energía, es ciertamente innegable; en las mentes de ciertos filósofos de mentalidad naturalista como Spencer, Newton, Ostwald y Haeckel se mezclaban los conceptos de substancia filosófica y substancia física.

Uno de los resultados filosóficamente más significativos de la microfísica es que esta idea, que llenaba las mentes del siglo XIX de una emoción casi religiosa, ya no es válida; las ideas correlacionadas de *cantidad* y *constancia* fallan a escala microfísica. El hecho de que estas ideas conserven su utilidad dentro del reino de dimensiones medias no disminuye de ningún modo el significado filosófico de su insuficiencia básica. Hoy es imposible compartir el entusiasmo de Hippolyte Taine que, hablando de la ley de conservación de energía, exclamó: «Se ha alcanzado la base inmutable del ser; hemos llegado a la substancia permanente» (*Le fond immuable de l'ètre est atteint; on a touché la subs-*

tance permanente) [51]. Hoy sería igualmente imposible hacer de la ley de conservación de materia la piedra angular del pensamiento filosófico, como han hecho los materialistas de todas las épocas; ni tampoco sería posible repetir el magnífico intento de Herbert Spencer de derivar las leyes más especiales de la naturaleza de la ley de constancia de energía. Hoy sería imposible entonar himnos acerca del universo como «cantidad metálica de fuerza», como hizo Nietzsche en la última parte de su obra póstuma *Wille zur Macht* [52]. Esta inaplicabilidad del concepto de cantidad constante a los elementos básicos *o más bien sucesos* del mundo físico hace que quede anticuada una gran parte del pensamiento del siglo XIX, así como sus prolongaciones del siglo XX. Pues el concepto de *constancia cuantitativa de la naturaleza* estuvo siempre correlacionado con el concepto del determinismo estricto, que en la segunda mitad del pasado siglo pasó de las ciencias físicas a todas las otras esferas.

No hay necesidad de repetir lo que ya se ha dicho acerca de esta correlación en la primera parte de este libro [53]. Recordemos tan sólo brevemente cómo la idea de naturaleza como cantidad constante de materia y movimiento había sido ya expresada por Lucrecio, que consideraba la indestructibilidad e increabilidad del ser como la propia base del orden de la naturaleza. Cuando veinte siglos más tarde Herbert Spencer y Wilhelm Ostwald trataron de derivar la ley de causalidad de la ley de constancia de energía, fueron inspirados por la misma idea esencialmente. Entonces es apenas sorprendente que la crisis contemporánea de la física afecte igualmente a las dos ideas íntimamente relacionadas; el determinismo estricto y la constancia del ser.

Oímos hablar mucho menos acerca de la crisis de las leyes de conservación que acerca de la crisis del determinismo; pero esto meramente demuestra que el prestigio de aquéllas es todavía lo bastante grande para hacer que no reparemos en las consecuencias del principio de indeterminación. Oímos hablar aún menos acerca de la crisis del *concepto de movimiento*, aunque su correlación con los dos conceptos precedentes está fuera de toda duda. Sabemos que la definición clásica de movimiento como desplazamiento de materia en el espacio fue introducida para conservar

[51] H. Taine, *De l'intelligence* (París, 1870), I, prefacio. (Página 11 de la edición XVI.)

[52] F. Nietzsche, *Gesammelte Werke* (München, 1926), vol. XIX, p. 373.

[53] Compárese capítulo IX de este volumen, pp. 136-138.

el principio de constancia de la substancia; pues el único tipo de cambio que no amenaza a este principio *es el cambio de posición*. Desde entonces la idea de cantidad constante de materia, que persiste a través del tiempo mientras que sólo cambia su distribución espacial, ha dominado —y aparentemente domina todavía en una medida considerable— nuestro pensamiento. La conexión histórica del concepto de movimiento con el del determinismo es tan clara como su conexión lógica. El determinismo explícitamente formulado y la idea cinética de la naturaleza nacieron al mismo tiempo y, si desconsideramos la curiosa inconsistencia de Epicuro y Lucrecio, han permanecido unidos desde entonces. Los movimientos de las partículas fueron siempre considerados como movimientos *causalmente determinados*. Cuando la dinámica moderna formuló las leyes causales que rigen el movimiento de las partículas en la forma de las leyes de conservación, enfocó simplemente de otra forma la íntima conexión entre el cinetismo, el determinismo y el principio de constancia cuantitativa de la naturaleza. ¿Es sorprendente que, cuando aparecen dudas acerca del determinismo y las leyes de conservación, el modelo cinético de la naturaleza se halle también en peligro?

El capítulo XV señaló la tendencia definida, aunque todavía algo implícita y generalmente aún sin reconocer, de la física moderna a sustituir los desplazamientos por *cambios* y las partículas por *sucesos*. En el contexto del presente capítulo estas trayectorias aparecen bajo una nueva luz. La fuerza obstrusiva con que el determinismo se impone a nuestra mente se debe a su íntima conexión con el esquema cinético-corpuscular, que confiere su engañosa «claridad cartesiana» al propio determinismo, aun en su forma abstracta. ¿Es entonces sorprendente que la hipótesis indeterminista rival no pueda ser nunca adecuadamente expresada dentro del esquema que, tanto histórica como lógicamente, ha estado siempre asociado con el determinismo del tipo más intransigente? Cualquier intento de expresar cualquier tipo de contingentismo en los términos del modelo cinético de la naturaleza ha de fracasar; por su propia naturaleza, el esquema cinético-corpuscular se resiste a cualquiera de estos intentos. Si persistimos, el resultado no será nada más que absurdos e incongruencias, como «partículas vagamente localizadas», «partículas sin momento definido», «cantidades de energía con límites vagos», «electrones que libremente eligen su órbita futura» o «fluctuaciones de energía sin causa». El nuevo vino se echa en las viejas bo-

tellas, con los resultados habituales. No sólo no encaja el indeterminismo en la estructura conceptual tradicional, sino que cuando es introducido en ella por la fuerza, necesariamente adquiere la forma improbable de indeterminismo *absoluto*. Esto es natural; el indeterminismo dentro de una idea cuantitativa de la realidad siempre aparecerá en forma de creación o destrucción de cierta cantidad de materia o energía o momento, o sea, en forma de *creatio ex nihilo* o *reductio in nihilum*. Pero tales creaciones o aniquilaciones absolutas son características del indeterminismo *absoluto*, o sea, *milagroso*, que es incompatible con *cualquier* tipo de universo coherente.

Si el contingentismo no puede ser adecuadamente expresado en la forma de cinetismo tradicional, ¿por qué no tirar las viejas botellas cuando se acaba el vino viejo? ¿Hay alguna probabilidad de penetrar de una manera más positiva en el contingentismo microfísico, tratando de expresarlo en los términos nada cinéticos ni corpusculares que hemos sugerido en el capítulo XV? ¿Sería posible obtener así una forma más racional de contingentismo que no destruyera toda conexión entre los sucesos sucesivos sin mezclarlos artificialmente en la fórmula intemporal de Laplace? Esta es la última cuestión que abordaremos en el capítulo siguiente.

CAPITULO DECIMOSEPTIMO

La restauración del concepto de transformación en el mundo físico

LA EMERGENCIA DE NOVEDAD Y LA POTENCIALIDAD DEL FUTURO.

Acabamos de completar el bosquejo de los más importantes cambios que han afectado a los principales conceptos clásicos. Indicamos que estos cambios son mucho más radicales que lo que generalmente se cree y que nuestro fracaso en percatarnos de ello se debe a la persistencia inconsciente o semiconsciente de nuestros hábitos tradicionales de pensamiento. Tan consistentemente como nos fue posible, tratamos de eliminar los residuos del subconsciente newton-euclidiano que subsiste bajo nuestra aceptación consciente de los conceptos físicos modernos. Aunque la parte principal de este libro tiene así un carácter negativo, ha sido imposible evitar completamente todas las insinuaciones de una interpretación positivista de la física contemporánea. Ahora vamos a coordinar las primeras insinuaciones de una manera más sistemática y más explícita. Esto no será nada más que un bosquejo de interpretación cuya elaboración detallada está fuera del alcance de este libro.

Toda interpretación filosófica de la física contemporánea puede parecer demasiado especulativa y polémica. Nuestra interpretación será rechazada por todos los que esperan que la física retornará, si no a los modelos pictóricos, al menos al determinismo clásico. Igualmente será rechazada por todos los que consideran el problema de la realidad transubjetiva en la física como desprovisto de significado. Estas dos advertencias preliminares son apenas necesarias, porque se deducen, naturalmente, de la conclusión sacada en el capítulo XVI: que la indeterminación microfísica es una faceta última de la naturaleza, irreducible a mecanismos causales; que es independiente de cualquier observador,

ya entendamos por «observador» la mente o el cuerpo de un observador o los instrumentos manipulados por su cuerpo.

Al dar al capítulo XVI el título de «Fin de la ilusión de Laplace» indicamos que la interpretación objetivista del principio de indeterminación implica el fin de la creencia en el mundo estático de Laplace y sus contemporáneos. Significa la *restauración del concepto de transformación en el mundo físico.* Llegamos a la misma conclusión criticando la equivocada interpretación estática de la unión relativista del espacio con el tiempo. No es preciso repetir lo que ya se ha dicho acerca de la persistencia de la tradición eleática en la filosofía y la ciencia y acerca de la falacia de la espacialización, de las que una y otra han desempeñado papeles tan desafortunados en las discusiones de la relatividad. Pero por convincentes que parezcan los argumentos contra la espacialización del tiempo, nunca podrán hacerse enteramente convincentes mientras se conserve el determinismo estricto. Mientras que la ambigüedad del futuro sea una simple apariencia debida a la limitación de nuestro conocimiento, el carácter temporal del mundo seguirá siendo necesariamente ilusorio.

El capítulo XVI observó la íntima conexión entre la *realidad* y la *necesidad* en el esquema determinista. El *Per realitaten et perfectionem idem intelligo* *, de Spinoza, y el *Was vernünftig ist, das ist wirklich; und was wirklich ist, das ist vernünftig* **, de Hegel [1], expresan la equivalencia de la realidad y la necesidad racional en *toda* forma de determinismo, ya sea de tipo naturalista o idealista: no sólo es necesario todo lo real, sino que es real todo lo necesario. Esto significa también que todo lo *irreal* es *imposible,* y viceversa. No queda campo intermedio para la posibilidad o potencialidad, o sea, para algo que, siendo *irreal, no es imposible.* La posibilidad, como nunca se han cansado de repetir los deterministas desde Demócrito hasta los modernos oponentes del indeterminismo microfísico, es simplemente un nombre que designa ignorancia humana. Como en la estructura determinista, el futuro posee el carácter de necesidad absoluta, adquiere *ipso facto* el *status* de realidad; se transforma en algo que *realmente* existe, una especie de presente disfrazado y oculto que permanece oculto únicamente a nuestro conocimiento limitado,

(*) Por realidad y perfección entiendo la misma cosa.
(**) Lo que es racional es real, y lo que es real es racional.
[1] B. Spinoza, *Ethica,* lib. II, def. 6 (véase también prop. 39); G. W. F. Hegel, *Grundlinien der Philosophie des Rechtes, Sämtliche Werke* (Stuttgart, 1928), VII, p. 33.

lo mismo que las regiones distantes del espacio se hallan ocultas a nuestra vista. El «futuro» es simplemente una etiqueta que ponemos a la parte desconocida de la realidad *presente*, que existe en el mismo grado que el paisaje oculto a nuestros ojos. Como esta porción oculta del presente es *contemporánea* con la porción accesible a nosotros, queda eliminada la relación temporal entre el presente y el futuro; el futuro pierde su *status* de «futuridad» porque, en vez de suceder al presente, *coexiste* con él.

Consideraciones análogas se aplican al pasado, que contiene momentos «subsecuentes» del mismo modo intemporal que el presente contiene el futuro. El vuelo del tiempo se ve así suspendido y los momentos sucesivos de la historia cósmica se reducen a un «Ahora» intemporal omnímodo, en el que se desvanecen por completo las distinciones entre el pasado, presente y futuro. Como William James dijo concisa y elocuentemente en fecha tan temprana como la de 1884 en su ensayo «The Dilemma of Determinism»:

¿Qué profesa el determinismo? Profesa que aquellas partes del universo ya expuestas absolutamente nombran y decretan lo que han de ser las otras partes. El futuro no tiene posibilidades ambiguas ocultas en sus entrañas: la parte que llamamos presente es compatible con sólo una totalidad. Es imposible otro complemento futuro que el que ha sido fijado desde la eternidad. El todo está en todas y cada una de las partes, y las fusiona en una unidad absoluta, un bloque de hierro, en el que no puede haber equivocación ni ambigüedad.

La actitud del indeterminismo hacia la idea de posibilidad, continúa James, es justamente lo contrario:

[El indeterminismo] admite que las posibilidades pueden exceder a las realidades, y que las cosas todavía no reveladas a nuestro conocimiento pueden ser realmente ambiguas. De dos futuros alternativos que concebimos, ambos pueden ser ahora realmente posibles; y uno se hace imposible únicamente en el preciso momento en que el otro lo excluye al hacerse real. El indeterminismo niega así que el mundo es una unidad y realidad inequívoca. Dice que hay cierto pluralismo último en él; y, al decir esto, corrobora nuestra inadulterada idea de las cosas. Según este criterio, las realidades parecen flotar en un mar más amplio de posibilidades, de entre las cuales son elegidas; y *en alguna parte*, dice el indeterminismo, existen tales posibilidades, y forman parte de la verdad. El determinismo, por el contrario, dice que no existen *en ninguna parte*, y que la necesidad, por un lado, y la imposibilidad, por otro, constituyen las únicas categorías de lo real. Las posibilidades que no se realizan son, para el determinismo, puras ilusiones: nunca

fueron posibilidades. Acerca de este universo nuestro dice que no hay nada incoado, habiendo estado virtualmente en él desde la eternidad todo lo que fue o es o será real[2].

Es apenas posible exponer con mayor claridad el dilema entre el determinismo y el indeterminismo. Hoy nos enfrentamos exactamente al mismo dilema en la física; el conflicto actual entre dos interpretaciones antagónicas del principio de indeterminación es simplemente un ejemplo especial del dilema filosófico descrito por James. ¿Es la probabilidad de los sucesos microfísicos meramente subjetiva o tiene un *status* independiente del observador humano? Nuestra idea del *status* del tiempo depende de la alternativa que escojamos; a la inversa, nuestra idea del tiempo determinará qué alternativa debemos defender. Pues la realidad del tiempo implica la emergencia de novedad y la emergencia de novedad es incompatible con la preexistencia del futuro. El único *status* que el futuro puede tener en el mundo dinámico es el de *posibilidad* o *potencialidad;* y la posibilidad, si no es una mera palabra que cubre nuestra ignorancia (como dicen los deterministas), implica la *auténtica ambigüedad* de los sucesos aún no realizados. Esto es lo que perciben tan intensamente los filósofos del moderno proceso desde James a Whitehead. Ellos no fueron los primeros pensadores que se percataron de ello. Aristóteles lo sabía cuando insistió en que la ley del medio excluido es inaplicable a las situaciones futuras. La posibilidad es una categoría indispensable del mundo dinámico; a la inversa, la afirmación del tiempo es el único modo de hacer significativo e inteligible el concepto de posibilidad objetiva. La elección entre posibilidad objetiva y simplemente aparente es en realidad la elección entre el universo dinámico y el estático; o, empleando la expresión de George Boas, entre *la aceptación del tiempo* y su repulsa.

Pero ¿tenemos todavía esa alternativa en la física contemporánea? *¿No nos imponen* los hechos de la mecánica ondulatoria el *concepto de probabilidad objetiva:* el término técnico aplicado por la física al concepto de posibilidad? En el capítulo XVI indicamos las razones por las que creemos que sí. En la mayoría de los casos, la resistencia a admitir esto nace de la lealtad a la tradición clásica, tanto científica como filosófica, que conside-

---

[2] W. James, "The Dilemma of Determinism", en *The Will to Believe and Other Essays in Popular Philosophy* (Londres, Longmans Green, 1917), pp. 150-151.

raba el *determinismo estricto* y la *racionalidad* como términos sinónimos. Según esta tradición, todo tipo de indeterminación (especialmente cuando se le da el nombre de «probabilidad») debe ser irracional. Pero la indeterminación parece irracional únicamente en el mundo estático que, por su propia naturaleza, excluye toda ambigüedad y contingencia del futuro; no es irracional en el universo dinámico, en el que la indeterminación es sinónimo de imprecisión objetiva del futuro o, más truísticamente, de la *futuridad del futuro*. No hay nada misterioso o irracional en la afirmación de que el universo es *incompleto* en el verdadero sentido de la palabra; ciertamente es una idea menos absurda que la que determina que el tiempo es una alucinación enorme y crónica de la mente humana.

Este aspecto dinámico del universo fue acentuado por James cuando habló acerca de la «eterna introducción de novedad concreta en el ser»; por Bergson cuando insistió en que el estado temporal incompleto del universo implica el elemento de indeterminación en cada uno de sus momentos; por Whitehead cuando habló del «avance creador de la naturaleza» [3]. Pero fue el mismo aspecto dinámico de la realidad el que acentuó Reichenbach en su ensayo «The Causal Structure of the World and the Distinction Between the Past and the Future» en 1925 o cuando en uno de sus últimos ensayos afirmó que a la luz de los fenómenos de *quantum* el lapso de tiempo es «una transformación real en la que la potencialidad se convierte en realidad» *(un devenir en acte dans lequel la potencialité se transforme en actualité)* [4]. De forma análoga, A. A. Robb señaló que el carácter fundamental de las relaciones de *antes* y *después* excluye el concepto de «universo en bloque» [5], que implica el determinismo riguroso; mientras que, más recientemente, H. Bondi ha dicho:

> ...el lapso de tiempo no tiene significado en el modelo lógicamente fijado que exige la teoría determinista, siendo el tiempo una simple coordenada. Sin embargo, en una teoría de indeterminación, el transcurso de tiempo transforma las esperanzas estadísticas en sucesos reales [6].

---

[3] W. JAMES, *Some Problems of Philosophy* (Londres, Longmans Green, 1940), p. 149; H. BERGSON, *Creative Evolution, passim;* A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, p. 178.

[4] H. REICHENBACH, "La signification philosophique du dualisme ondes-corpuscules", en *Louis de Broglie: physicien et penseur* (París, 1953), p. 133.

[5] A. A. ROBB, *Geometry of Time and Space* (Cambridge University Press, 1936), p. 22.

[6] H. BONDI, "Relativity and Indeterminacy", *Nature*, vol. 169 (1952), p. 660.

LA NOVEDAD ES COMPATIBLE CON LA INFLUENCIA CAUSAL DEL PASADO.

La objeción más frecuente contra la realidad de la novedad es su supuesta incompatibilidad con cualquier tipo de universo ordenado y coherente. Según esta idea, el más ligero grado de contingencia de la naturaleza produciría la «ruina de la ciencia» y el «suicidio de la razón». El argumento más plausible de los deterministas del siglo XIX era que la afirmación de novedad real en la naturaleza, por pequeña que sea, es equivalente al reconocimiento de una milagrosa *creatio ex nihilo*. Es cierto que la expresión de Charles Renouvier, uno de los solitarios defensores de la contingencia por entonces, «el principio absoluto» *(le commencement absolu)* fácilmente sugirió esta interpretación errónea; pero Renouvier, apremiado por las objeciones de Alfred Fouillée, volvió a exponer su pensamiento de un modo más claro y menos desorientador al insistir en que el concepto de «principio absoluto» es incompatible con la causalidad del tipo *causa equat effectum*, mientras que no sólo es consistente con el tipo más general de conexión causal, sino que incluso requiere el mismo [7].

Los necesitaristas, conscientes de que las caricaturas de sus oponentes son más vulnerables que los propios oponentes, se imaginan incluso la forma temporalista moderna del indeterminismo como una simple reedición del indeterminismo absoluto del tipo medieval de *liberum arbitrium* ilustrado por el famoso relato del asno de Buridan. En fecha tan temprana como la de 1884, James desenmascaró «las eyaculaciones del señor Spencer» y la caricatura del indeterminismo por John Fiske, que afirmaban que la negación de la necesidad es equivalente a la afirmación de ilegalidad en la naturaleza, que hace que sea imposible toda ética, historia, política y leyes [8]. A pesar de la refutación de Ja-

La incompatibilidad del determinismo laplaciano con el orden causal relativista fue recientemente acentuada por H. TORNEBÖHM, *A Logical Analysis of the Theory of Relativity* (Estocolmo, 1952), p. 45. De forma análoga, A. N. WHITEHEAD relacionó la independencia causal de los sucesos contemporáneos con la indeterminación en el universo. *Adventures of Ideas* (Macmillan, Nueva York, 1947), p. 255.

[7] CHARLES RENOUVIER, "Les arguments psychologiques pour et contre le libre arbitre", *Critique Philosophique*, vol. XII (1884, II), pp. 49 y sigs.

[8] W. JAMES, "The Dilemma of Determinism", p. 157; *The Principles of Psychology*, vol. II, p. 577.

mes, el argumento sigue siendo popular ahora. «Admitamos la existencia de contingencia», dicen los deterministas, «y *cualquier cosa* puede ocurrir» [9].

Es evidente que argumentos similares van dirigidos contra el *indeterminismo absoluto*, que no es defendido por nadie, excepto tal vez por Dirac, que aboga por el *liberum arbitrium naturae* [10]. Bergson señaló que la novedad real del momento presente no debe ser concebida como *creatio ex nihilo;* por el contrario, la emergencia de novedad no es nada más que el *paso* del momento pasado antecedente al momento presente [11]. Así, lejos de ser incompatible con la continuidad de los momentos sucesivos, la novedad la *presupone*. Pero esta continuidad es de un tipo sucesivo *dinámico* o, hablando con Whitehead, es un «hacerse de la continuidad» en vez de una implicación intemporal rígida del tipo laplaciano [12]. En la continuidad temporal de un proceso real de causación —que no debe confundirse con la espuria continuidad matemática de instantes sin duración— la influencia causal o «mnémica» del pasado no se niega; pero el presente, aunque *codeterminado* por el pasado, contiene, no obstante, un elemento de novedad irreducible. La individualidad de un suceso presente o, mejor dicho, su actualidad, sería irremediablemente destruida sin esta doble faceta de novedad y su cohesión dinámica con las fases anteriores [13]. Es la conexión con el pasado, así como el contraste con éste, la que crea la actualidad específica de «ahora». En cuanto se refiere al futuro, es el *futuro* y no un presente disfrazado y oculto, como en el esquema necesitarista:

---

[9] La crítica de E. Cassirer acerca del "indeterminismo ilimitado" *(schrankenlos Indeterminismus)* pertenece a la misma categoría que las objeciones de Spencer y Fiske. También es ésta la idea de W. H. WERKMEISTER, que identifica la indeterminación con "el principio del caos", según el cual "algo podría suceder" *(A Philosophy of Nature,* p. 276) y de MAX PLANCK. *(Determinismus oder Indeterminismus?,* Leipzig, 1948.) En cuanto a la idea opuesta, véase el excelente ensayo de Charles Hartshorne "Order in a Creative Universe", en *Beyond Humanism* (Willett, Clark, Chicago, 1937), pp. 125-149.

[10] P. A. M. DIRAC, *The Principles of Quantum Mechanics* (Oxford, Clarendon Press, 1930), p. 4; *Electrons and Photons,* pp. 263-265.

[11] H. BERGSON, *Essai,* p. 126; *Matière et mémoire,* p. 205. De forma análoga, MARIO BUNGE rechaza en nombre del "principio genético" la emergencia de la nada sin negar la novedad, sin embargo, y sin negar el principio mecanicista de "causa aequat effectum". Compárese su *Causality. The Place of Causal Principle in Modern Science* (Harvard University Press, Cambridge, 1959), pp. 24-25, 203-206.

[12] WHITEHEAD, "Time", en *Proceedings of the Sixth International Congress of Philosophy* (Londres, Longmans Green, 1937), p. 64.

[13] BERGSON, *Creative Evolution,* p. 4.

surgirá, no es todavía. Pero puesto que no saldrá *ex nihilo,* sino de un estado presente particular, se bosqueja su *dirección* general, y así posee algunas facetas generales predecibles: tanto más predecibles cuanto mayores sean los complejos estadísticos de los sucesos elementales considerados. De aquí nace la posibilidad de una predicción prácticamente exacta de los sucesos macroscópicos.

Aparentemente, cuando Emile Boutroux afirmó en 1874 que sus «variaciones elementales» *(les variations élémentaires)* son tan pequeñas que escapan a la detección experimental mediante los instrumentos inexactos de ese período [14], apenas esperaba que dentro de medio siglo los métodos de observación serían suficientemente refinados para confirmar sus atrevidas anticipaciones. Hoy la ciencia no se ve arruinada y la «razón» no se está suicidando, aunque se está abandonando el concepto clásico de causalidad o, más exactamente, se está sustituyendo por un concepto de nueva definición, libre de las inconsistencias y disparates del antiguo. En sus implicaciones la física contemporánea retorna por apartados y complicados caminos a la evidencia de nuestra experiencia inmediata, a una de cierto pequeño número de evidencias que no son engañosas: a la de *un mundo realmente creciente con auténticas novedades que surgen no «de la nada», sino de antecedentes pasados.* Otras facetas engañosas de nuestra experiencia macroscópica, a la vez que los fijos hábitos eleáticos de nuestro pensamiento, han obscurecido durante largo tiempo esta evidencia.

En tal mundo presente, todo suceso presente es indudablemente causado, aunque no necesitado por su propio pasado. Pues mientras que no es todavía presente, su carácter específico sigue siendo inseguro por una simple razón: que es únicamente su cualidad de presente la que crea su especificidad, o sea, pone fin a su incertidumbre, eliminando todas las otras facetas posibles que no son compatibles con ella. Así todo momento presente es, por su propia naturaleza, un *acto de selección* que termina con la vacilación de la realidad entre varias posibilidades. Los términos «selección» y «vacilación» parecen ser metafóricos e incluso antropomórficos a primera vista: en verdad, no expresan nada más que el carácter ambiguo del futuro irrealizado, así como su

---

14 E. Boutroux, *De la contingence des lois de la nature,* 8.ª ed. (París, 1915). cap. IV.

realización concreta subsecuente. *Le temps est cette hésitation même ou il n'est rien du tout* (el tiempo es esta misma vacilación o no es nada), como concluyó Bergson en su último libro [15].

Así la *causación dinámica* es enteramente compatible con la emergencia de novedades en el mundo auténticamente creciente. En realidad, sólo en tal mundo tiene sentido la continuidad dinámica causal entre las fases sucesivas. No tiene lugar ni en el mundo absolutamente indeterminado ni en el absolutamente determinado. Pues mientras el primero elimina la causación rompiendo enteramente la continuidad dinámica entre el pasado y el presente, el segundo la elimina con la misma efectividad transformándola en una cohesión estática solidificada del tipo laplaciano.

La novedad implica irreversibilidad.

Los capítulos VIII y IX señalaron la vacilación entre los físicos clásicos sobre la cuestión de si adoptar la teoría absolutista del tiempo o la relacional. Según Newton, el tiempo, siendo absoluto —o sea, independiente de su contenido físico— es intrínsecamente *irreversible*; aun si todo el universo retornase al estado por el que ya había pasado, los dos momentos correspondientes seguirían siendo irremediablemente sucesivos, siendo uno «antes» y el otro «después». En otras palabras, ni siquiera una recurrencia completa del estado previo eliminaría el intervalo temporal que separa el momento original de su repetición *idéntica* subsecuente. Una insistencia análoga sobre la separabilidad del tiempo respecto de su contenido concreto condujo a Gassendi a afirmar que el tiempo transcurriría incluso antes del principio del mundo *(absque ullo principio ante Mundum)* y continuará transcurriendo aun si el mundo entero es destruido *(destructo etiam Mundo)* [16]. Pero fue el mismo Gassendi quien, influido por Epicuro, se inclinó hacia la teoría relacional del tiempo, insistiendo en la inseparabilidad del tiempo respecto de los sucesos y llamándolo «accidente de accidentes». Así el tiempo no es «nada por sí mismo», existiendo sólo en el pensamiento, que lo atribuye a

---

[15] Bergson, *La pensée et le mouvant*, p. 117.

[16] Pierre Gassendi, *Opera omnia* (Lugduni, 1658), I, Syntagma philosophicum, p. 220.

las cosas (*non aliquid per se, sed cogitatione dumtaxat, seu mente attributurum rebus prout concipiuntur in eo*) [17].

Leibniz era menos vacilante cuando, en nombre del principio de identidad de indiscernibles, rechazó toda distinción entre tiempo y sucesos concretos; según él, es un disparate afirmar la diferencia entre dos momentos de tiempo *vacío*, porque en virtud de la homogeneidad del tiempo vacío no existe ninguna diferencia observable. No puede existir ninguna sucesión sin la heterogeneidad del contenido físico correspondiente. Aunque Leibniz, que yo sepa, no lo dijo explícitamente, su teoría implicaba que en el caso hipotético de una repetición idéntica incompleta de dos estados no tendríamos derecho, en virtud del mismo principio de identidad de indiscernibles, a hablar de la sucesión de dos momentos; el momento «original» y su repetición se fusionarían en un solo suceso que sería el principio y el fin del ciclo completo.

En el esquema mecánico-corpuscular los sucesos sucesivos eran definidos en términos de configuraciones sucesivas; el retorno de la configuración idéntica era considerado como extremadamente improbable, *pero no imposible*. Pero como «la probabilidad no cero debe aparecer con una frecuencia no cero» [18], el momento idéntico debe repetirse finalmente y el tiempo cósmico debe finalmente retornar sobre sí mismo. Pero si el tiempo es cíclico, entonces la diferencia entre el pasado y el futuro se ve borrada y «la dirección del tiempo» tiene solamente un significado local y «seccional» definido por el incremento local de entropía para ciertos intervalos de tiempo que, por largos que sean, siempre serán finitos. Por esta razón, como acentuó Boltzmann, no hay dirección privilegiada del tiempo para el universo en general. En ciertas regiones del universo el tiempo está «corriendo hacia atrás»; esto sucede a nivel microscópico, donde las fluctuaciones del movimiento browniano representan decrecimientos temporales de entropía; esto debe suceder finalmente, según las leyes de probabilidad, en toda región macroscópica, y puede estar sucediendo ahora, según Boltzmann, en algunas regiones muy distantes del universo.

Antes de considerar estas afirmaciones de la física clásica a la luz de los descubrimientos recientes, debemos percatarnos de

---

17 GASSENDI, *Philosophi Epicuri Syntagma*, I, c. 16.
18 H. REICHENBACH, *The Direction of Time*, p. 111.

que aquí estamos tratando realmente de *dos* afirmaciones diferentes que, aunque íntimamente relacionadas y mutuamente compatibles, siguen siendo, no obstante, distintas. Una de ellas afirma la recurrencia eterna de los sucesos; la otra, la reversibilidad de la dirección del tiempo. Aunque la teoría cíclica del tiempo entraña la eliminación, o al menos la relativización, de la dirección del tiempo, lo contrario no es necesariamente cierto; los que niegan el carácter absoluto de la dirección del tiempo no siempre insisten sobre el carácter cíclico del tiempo. Ni Boltzmann ni Reichenbach defendieron las ideas de Nietzsche o Abel Rey acerca de la repetición idéntica de cada suceso individual, aunque sí creían en la reversibilidad del tiempo.

Intentamos demostrar que la teoría del eterno retorno, además de ser incompatible con las afirmaciones de la física contemporánea, supone tácitamente, al menos en su habitual versión lingüística, el carácter no cíclico del tiempo; mientras que la teoría del tiempo reversible se basa en la confusión semántica creada por el uso ilegítimo de un lenguaje metafórico desorientador.

La teoría del eterno retorno se basaba en tres presuposiciones:

1. El universo está formado de entidades atómicas distintas que persisten a través del tiempo sin ningún cambio intrínseco para que puedan ser identificadas en diferentes momentos de tiempo.
2. El universo es finito o, más específicamente, el número de sus componentes es finito.
3. No es un disparate hablar de un definido «estado del universo» en cada instante individual.

Las suposiciones primera y tercera ya no son válidas. No hay entidades corpusculares permanentes identificables a través del tiempo (véase capítulo XIV con respecto a la crisis del concepto de partícula). Ni tiene físicamente sentido hablar de «estado del mundo en un instante dado» (véase el capítulo X con respecto a la eliminación del concepto de instante universal). Así no puede nunca producirse un retorno de la configuración instantánea «inicial» de partículas, porque los dos conceptos implicados —configuración instantánea y partícula— pertenecen al aparato conceptual anticuado de la física clásica.

Nada ganamos si sustituimos el modelo corpuscular del uni-

verso por el modelo de campo, y, si en vez del «retorno de la misma configuración de partículas», hablamos de «la recurrencia del mismo estado energético», caracterizado por la misma distribución del valor energético a través del espacio. Incluso entonces se presupone el concepto de instante universal, que resulta disparatado a la luz de la teoría especial de la relatividad.

Más serias son las dificultades lógicas intrínsecas inherentes en la teoría del eterno retorno. Es dudosa la cuestión de si tiene sentido el concepto de *repetición absolutamente idéntica*. Si una situación cósmica recurrente es *en todos los respectos idéntica* a la anterior, ¿cómo pueden diferenciarse estas dos situaciones sucesivas? ¿En qué se basa la afirmación de que la segunda situación es una *repetición* de la primera? Si nuestra respuesta es que las situaciones se diferencian únicamente por sus diferentes posiciones en el tiempo, proporcionamos el supuesto que destruye toda la teoría. Pues la propia base de la teoría del eterno retorno es *la teoría relacional del tiempo* según la cual es un disparate diferenciar los momentos de tiempo de los sucesos concretos que los ocupan. Si dos situaciones son idénticas en *todos* los respectos, no tiene sentido hablar de su sucesión; tratamos *de un solo e idéntico momento*, que es tanto el principio como el fin del ciclo temporal completo. Si continuamos diciendo que los ciclos cósmicos idénticos *se suceden unos a otros* o que la situación presente es una *repetición* de un número infinito de situaciones anteriores idénticas, caemos inconscientemente en la teoría absolutista del tiempo. Dentro de la estructura de la teoría absolutista tiene sentido, desde luego, hablar acerca de la sucesión de ciclos idénticos; pero entonces el propio tiempo universal, que contiene tales ciclos *sucediéndose* unos a otros, ya no es cíclico.

La imposibilidad del tiempo cíclico se deduce de la afirmación de *novedades reales* en el mundo físico. Si todo momento es irreducíblemente original por su naturaleza —como es natural suponer si aceptamos la interpretación objetivista del principio de indeterminación—, entonces no se puede negar la irreversibilidad de la transformación. Pues la teoría de emergencia perpetua de novedades excluye claramente la posibilidad de dos momentos sucesivos idénticos, sin que importe cuánto tiempo pueda separarlos un intervalo de tiempo. Tal identidad, requerida por la teoría cíclica del tiempo, privaría al segundo momento de la cualidad de novedad auténtica que debe poseer. Cada momento,

en virtud de su novedad auténtica, es único e irrepetible. Así la novedad implica irreversibilidad.

Debemos evitar la interpretación del término «momento» en su sentido cósmico prerrelativista; pues sabemos que no hay instantes universales. No tenemos que entender la irreversibilidad de la historia universal en el sentido newtoniano como una serie lineal de una sola dimensión de momentos cósmicos instantáneos. Por otra parte, sabemos que el universo relativista está dinámicamente constituido por la red de líneas causales, *de las que cada una es irreversible;* también sabemos que esta irreversibilidad es una invariante topológica, porque no sólo no puede preceder en ninguna parte un efecto a una causa, sino que incluso una reversión aparente del orden causal no puede ser nunca observada, cualquiera que sea el ángulo de referencia que adoptemos. En este preciso sentido pluralista la transformación del universo —o, más bien, del *multiverso*— es irreversible.

En la teoría del eterno retorno la dirección del tiempo «del pasado hacia el futuro» desaparece enteramente. Con respecto al presente móvil, *todos* los otros sucesos son pasados y futuros: lo que suceda ha sucedido ya y lo que ha sucedido sucederá de nuevo. La situación no es tan definida en las teorías que afirman la reversibilidad sin recurrencia eterna. Estas teorías, basadas en las teorías relacionales del tiempo, afirman que el tiempo, siendo inseparable de los sucesos concretos, su «dirección» o «flecha de tiempo», no puede ser definido únicamente en los términos de alguna *trayectoria observable* en los propios sucesos concretos. Empezando por la termodinámica del siglo XIX, la flecha del tiempo es definida por el incremento de entropía, o sea, por la nivelación gradual de las temperaturas. Pero como el incremento de entropía es únicamente estadístico, la propia flecha del tiempo adquiere un carácter estadístico y debemos esperar alternaciones de la dirección del tiempo correspondientes a los incrementos o decrecimientos de la curva de entropía. Cualquier decrecimiento de entropía, ya sea a escala microscópica o cósmica, representa así al tiempo «corriendo hacia atrás», o sea, moviéndose «del futuro al pasado». Así, la dirección del tiempo, al ser identificada con la trayectoria *local* y *reversible* de los sucesos físicos, adquiere también el carácter *local* y *reversible*. Tal idea adquirió una popularidad considerable, gracias en parte a su plausible presentación por A. E. Eddington en 1925. Es verdaderamente sorprendente el alto número de pensadores serios

que todavía la aceptan sin discusión. La limitación más grave de la teoría se debe al hecho de que se basa en el discutible uso de términos que sólo pueden ser aplicados al tiempo en un sentido suelto y metafórico. Estos términos son «dirección del tiempo» o «flecha del tiempo».

La metáfora «dirección del tiempo» está justificada hasta cierto punto; expresa en términos espaciales y cinemáticos la asimetría básica del tiempo, la distinción entre pasado y futuro. Pero tan pronto como se toma literalmente esta metáfora, surgen serias dificultades. Podemos preguntar, por ejemplo, «¿De dónde y hacia dónde fluye el tiempo?». La respuesta convencional «Del pasado hacia el futuro» parece satisfacer a la mayoría de la gente, y esto, indudablemente, explica por qué aparecen con tanta frecuencia los términos «flujo» y «corriente». El tiempo se convierte así en un río metafísico cuya fuente está en el pasado infinitamente distante y su estuario en el futuro infinitamente distante. Newton utilizó el verbo «fluir» en su famosa definición del tiempo físico, y dos siglos después de él, William James aplicó la misma imagen a nuestro tiempo psicológico particular. De manera más abstracta, pero no de un modo esencialmente diferente, el tiempo es descrito como movimiento de un punto a lo largo de una línea recta; el punto móvil simboliza el instante presente, el camino ya recorrido corresponde al pasado, los puntos aún no ocupados corresponden a los sucesos futuros. Pero como todo movimiento en el espacio es relativo y puede ser transformado en reposo por un cambio adecuado del ángulo de referencia, es permisible considerar el momento presente como *estacionario* y los sucesos futuros como *moviéndose hacia el pasado* con velocidad igual y opuesta, o sea, opuesta con respecto a la velocidad del momento presente en la primera imagen. En vez de avanzar el presente hacia el futuro, los sucesos futuros retroceden hacia el presente inmóvil, pasan por él, y entonces se hunden en el pasado cada vez más profundo. William James lo expuso de un modo más pintoresco cuando escribió que

> ...el presente especioso, la duración intuida, queda permanente, lo mismo que el arco iris en el salto de agua, sin ser cambiada su propia cualidad por los sucesos que pasan por él[10].

¿Cuál de estas descripciones es correcta? ¿Fluye el tiempo

---

[10] W. JAMES, *The Principles of Psychology*, vol. I, p. 630.

hacia adelante, del pasado al futuro, o hacia atrás, del futuro al pasado? La única respuesta posible es que las dos descripciones son igualmente inadecuadas. Ambas son intentos metafóricos de traducir a términos espaciales y cinemáticos la naturaleza evasiva del tiempo. Tan pronto como tratamos de ilustrar la naturaleza del tiempo comparándolo con el movimiento, *el principio de relatividad cinemática del movimiento* se introducirá tarde o temprano en nuestras ilustraciones y diagramas; de aquí, dos respuestas aparentemente contradictorias con respecto a la denominada dirección del tiempo.

No cabe duda de que las dos respuestas reflejan también las diferentes actitudes que puede adoptar nuestra conciencia del tiempo. Cuando adoptamos una actitud pasiva y expectante, entonces los sucesos futuros parecen venir hacia nosotros, y después de pasar por nuestro presente parecen hundirse cada vez más en el pasado. (No es accidental que las actitudes pasivamente expectantes y retrospectivas se vean psicológicamente afiliadas.) Por otra parte, cuando adoptamos una actitud activa, entonces tenemos la sensación de movernos hacia el futuro, el cual *alcanzamos* y *conquistamos*. Es inútil discutir acerca de la «verdadera» dirección del tiempo por la simple razón de que el tiempo no tiene dirección en el sentido cinemático literal.

Por otra parte, las dos descripciones aparentemente antagónicas son torpes traducciones a términos geométricos y cinemáticos de la *irreversibilidad de la transformación*, que se deduce lógicamente de la emergencia de novedades. Hemos visto cómo esta idea no puede separarse de la afirmación de la potencialidad del futuro en contraste con la ya completa realidad del pasado. Una vez que nos percatamos de que la naturaleza del proceso temporal radica en la transformación perpetua del futuro potencial en la realidad del presente, como acentuó correctamente Hans Reichenbach en su artículo citado anteriormente, entonces la tesis de la reversibilidad del tiempo nos parecerá un absurdo total que ni siquiera puede ser expresado en un lenguaje autoconsistente. Una reversión de la dirección del tiempo significa —si olvidamos todas las metáforas espaciales desorientadoras— que tiene lugar el proceso opuesto, el proceso de no transformación o repotencialización del pasado; en otras palabras, que lo que ya *ha* sucedido se está transformando en algo que *todavía* no ha sucedido. Incluso Santo Tomás de Aquino, que se resistía a poner límite a la omnipotencia divina, tuvo que reconocer que incluso para Dios era

esto imposible de realizar: *Praeterita autem non fuisse contradictionem implicat* (sin embargo, que no haya sido el pasado implica una contradicción) [20]. En este respecto, sigue a Aristóteles, a quien cita: «Dios está privado de esta cosa, o sea, deshacer las cosas que han sido hechas» [21]. Esto es lo que más recientemente Whitehead llamó «la inmortalidad del pasado» y P. W. Bridgman «la irrevocabilidad del pasado» [22].

Sin embargo, si olvidamos que la palabra «dirección» procede de la geometría y la cinemática y que, por tanto, sólo puede ser aplicada al tiempo en un sentido metafórico, podemos sacar impensadamente toda la consecuencia de la denominada analogía entre el «movimiento del tiempo» y el movimiento de los cuerpos. Así podemos pensar que como la dirección del movimiento en el espacio puede cambiar, la dirección del tiempo puede cambiar también; lo mismo que un punto material puede invertir su movimiento y pasar por las posiciones previamente ocupadas, el «presente móvil» puede retornar al pasado, o lo mismo que los movimientos en el espacio pueden ser circulares, el curso del tiempo también puede ser circular. Tanto la teoría del tiempo reversible como la teoría del eterno retorno descansan sobre estas falsas analogías cinemáticas.

Por estas razones, todos los intentos de definir el tiempo en términos de algún proceso que sea reversible en principio, aun si no lo es en realidad, están condenados al fracaso. En este respecto, las incisivas palabras de Bridgman son enteramente convincentes:

> Pero en ningún caso existen dudas acerca de que el tiempo fluye hacia atrás, y en realidad el concepto de que el tiempo fluye hacia atrás parece absolutamente disparatado. ... Si se descubriera que la entropía del universo estuviese decreciendo, ¿se diría que el tiempo fluye hacia atrás, o se diría que es ley de la naturaleza que la entropía decrezca con el tiempo? [23].

Jean Perrin consideró la probabilidad de ser elevado un ladrillo, sólo por el efecto del movimiento browniano, hasta el se-

---

[20] AQUINO, *Summa Theologica*, Q. 25, art. 4.

[21] ARISTÓTELES, *Ethica Nicomachea*, lib. VI, cap. 2.

[22] A. N. WHITEHEAD, *Process and Reality* (Nueva York, Macmillan, 1930), *passim; Adventures of Ideas* (Nueva York, Macmillan, 1933), pp. 247-48; P. W. BRIDGMAN, *The Logic of Modern Physics*, p. 79.

[23] P. W. BRIDGMAN, *Reflections of a Physicist* (Nueva York, Philosophical Library, 1955), p. 251.

gundo piso y descubrió que el tiempo necesario para tal suceso superaría con mucho los períodos geológicos de la tierra. Pero por extremadamente improbable que sea tal suceso, *no es imposible* mientras se retenga el modelo cinético de entropía. No podemos descartar la posibilidad de que todos los impactos moleculares, incidiendo sobre un ladrillo desde abajo, tengan direcciones paralelas hacia arriba [24]. De forma análoga, Bertrand Russell observó que, con tiempo suficiente a nuestra disposición, finalmente veríamos helarse un cubo de agua colocado en el fuego [25]. Pero incluso en un mundo tan fantástico como el de los ladrillos elevándose en el aire y el agua helándose por el contacto del fuego, el tiempo aún continuaría fluyendo sin cambiar de «dirección»; pues los intervalos excepcionales de decrecimiento de entropía aún serían intervalos de *tiempo*, o sea, *seguirían* a los intervalos del previo incremento normal de entropía y *precederían* a otros intervalos en los que la curva de entropía descendería de nuevo. A escala microscópica, estas denominadas reversiones de tiempo se producen en los fenómenos de las fluctuaciones del movimiento browniano, y, sin embargo, sería absurdo afirmar que algunos animales microscópicos, que son del mismo orden de magnitud que las oscilaciones moleculares, experimentan un «tiempo que corre hacia atrás».

Reichenbach, que —en extraño contraste con su defensa de la transformación— se ajustaba a la idea de tiempo reversible, se hallaba, no obstante, vagamente consciente de esta dificultad cuando admitió que los denominados segmentos «contradirigidos» del tiempo están todavía contenidos en el «supertiempo». Esto claramente implicaría que *se suceden unos a otros*, y con la admisión de la relación asimétrica de antes-después se restaura la irreversibilidad o «unidireccionalidad» del tiempo. Sin embargo, Reichenbach se resistía a reconocer esto, y creía haber superado la dificultad afirmando que el supertiempo sólo tiene propiedades ordinales de un carácter temporal intermedio sin poseer dirección alguna [26]. Esta falaz distinción entre carácter temporal intermedio y dirección temporal se basa también en la analogía superficial y engañosa del «curso del tiempo» con una línea geométrica. La irreversibilidad de la transformación es de naturaleza

[24] JEAN PERRIN, *Les Atomes*, p. 125.
[25] Citado por BRIDGMAN, *Reflections of a Physicist*, p. 255.
[26] H. REICHENBACH, *The Direction of Time*, p. 129.

cualitativa, y cualquier intento de traducirla a imágenes espaciales y simbolismo geométrico solamente crea sofismas e interpretaciones erróneas.

¿Significa esto que, al no querer interpretar el tiempo en términos de incremento de entropía, rechazamos *toda* teoría relacional del tiempo y que así recomendamos un retorno disfrazado a la idea newtoniana de tiempo irreversible vacío, independiente de los sucesos? De ningún modo. Por el contrario, en el curso de este libro, se ha acentuado repetidas veces la inseparabilidad del tiempo respecto de los sucesos concretos. Sería ocioso extendernos de nuevo sobre la fusión relativista de tiempo-espacio con su contenido físico concreto y variable. Rechazamos solamente esa forma especial de la teoría relacional que considera el tiempo en el sentido epicúreo como «accidente de accidentes», o sea, como dependiendo de configuraciones de partículas cambiantes y *recurrentes*. Sólo en una teoría relacional de tal tipo se deduce de su definición la reversibilidad del tiempo.

Por esta razón, el tiempo no puede ser definido mediante incremento de entropía mientras que ésta sea interpretada en términos cinéticos clásicos a la manera de Boltzmann. Pero como esta interpretación es ahora dudosa en vista de la establecida insuficiencia del esquema cinético-corpuscular de la naturaleza, se hace cada vez más patente que aún está por ser hallado un significado más profundo de la segunda ley de la termodinámica. Existe una creciente tendencia entre los físicos contemporáneos a abandonar los vanos esfuerzos de derivar la irreversibilidad macroscópica de los denominados microprocesos reversibles básicos [27]. Lo que sigue es solamente un bosquejo muy incompleto de esta trayectoria.

Cuando en 1905 Pierre Duhem insistió sobre la irreversibilidad básica de la transformación física y sobre el carácter superficial e incluso absurdo del concepto de proceso reversible [28], fue guiado principalmente por sus preocupaciones aristotélicas y por su desconfianza de las explicaciones mecánicas, que por entonces estaban solamente justificadas en parte. Unos cuantos años más

---

[27] L. L. Whyte, "One-Way Processes in Physics and Biology", *British Journal of the Philosophy of Science*, vol. VI (1955), p. 110: "Debemos abandonar la larga lucha con la pregunta: "¿Cómo surge la irreversibilidad si las leyes básicas son reversibles?", y preguntar en cambio: "Si las leyes son del carácter de una sola dirección, ¿bajo qué ... condiciones pueden proporcionar las expresiones reversibles una aproximación útil?".

[28] P. Duhem, *L'Evolution de la mécanique*, pp. 237-238.

tarde Henri Bergson, reconociendo estar influido por Duhem, dio a la segunda ley de la termodinámica la calificación de «la ley más metafísica de la física, porque señala sin símbolos interpuestos, sin aparatos artificiales de mediciones, la dirección en que marcha el mundo» [29]. Esta feliz adivinación no fue accidental. Fue inspirada por el convencimiento filosófico de Bergson acerca de la irreversibilidad intrínseca de la duración cósmica, y a su vez este convencimiento le condujo a dudar de la interpretación cinética de la entropía. Cuando la teoría de la relatividad y la teoría de los *quanta* desacreditaron los modelos cinético-corpusculares, la base de la interpretación cinética de la segunda ley de la termodinámica se vio en peligro, pues la desintegración general del mecanismo clásico suscitó grandes dudas acerca del propio concepto de un proceso reversible.

En 1925 Arthur S. Eddington fue uno de los primeros físicos que invirtieron el procedimiento clásico tradicional y expresaron la idea de que la irreversibilidad macroscópica, en vez de ser un simple fenómeno —o más bien epifenómeno— derivable de los procesos reversibles básicos, es la característica primaria de la realidad física, de la que el declive positivo de entropía es un mero símbolo humano. Expresó su idea o más bien su *convencimiento* de que

> ...hay todavía algo no captado detrás de la noción de entropía —cierta interpretación mística, si se quiere— que no aparece en la definición mediante la cual la introducimos en la física. En resumen, nos esforzamos por ver que el declive de entropía puede ser *realmente* el avance del tiempo (en lugar de *viceversa)* [30].

A pesar de la obscurecedora vaguedad de este pasaje, su última frase indica que el declive positivo de entropía es *una de las* manifestaciones de la irreversibilidad del tiempo en vez de ser idéntico a ella. (En este respecto, la presentación popular de la teoría de Eddington como identificación de la flecha del tiempo con el incremento de entropía no es correcta, al menos no lo es en cuanto se refiere al pasaje citado.)

En 1931 este proceso «no captado todavía», del cual es un aspecto parcial el declive positivo de entropía, fue identificado por Lemaître con la *expansión del universo*. Su atrevida y ambi-

---

[29] H. BERGSON, *Creative Evolution*, p. 265.

[30] A. EDDINGTON, *The Nature of the Physical World*, p. 95.

ciosa teoría unía tres hechos aparentemente no relacionados: la recesión de las galaxias, la disipación gradual de la energía y la existencia de los rayos cósmicos. Es interesante que, según el propio Lemaître, la formulación de ambas leyes de la termodinámica en los términos de la teoría cuántica fuese uno de los motivos inspiradores de su cosmogonía:

> Desde el punto de vista de la teoría cuántica, los principios termodinámicos pueden ser expuestos de la manera siguiente: 1) La energía de cantidad total constante se distribuye en los *quanta*. 2) El número de *quanta* distintos se halla constantemente en crecimiento. Si retrocedemos en el curso del tiempo debemos encontrar cada vez menos *quanta*, hasta encontrar toda la energía del universo empaquetada en unos pocos o incluso en un único *quantum*[31].

La historia universal empezó así por medio de una «explosión superradiactiva» del *quantum* original individual, y el desarrollo del universo es una continuación de este proceso de fragmentación de energía en el creciente número de *quanta* cada vez más pequeño. La enorme energía de los rayos cósmicos es simplemente un «residuo fósil» de la radiación de alta frecuencia procedente de la fase original de la historia cósmica.

La teoría cosmogónica de Lemaître tiene ciertas facetas hacia las cuales ya hemos dirigido la atención al discutir la física relativista:

1. La fusión relativista de masa con energía da a Lemaître el derecho de llamar también «átomo primario» al superfotón original y considerar las presentes desintegraciones radiactivas como réplicas en pequeña escala del proceso de fragmentación de energía mediante el cual comenzó el universo hace unos cuantos billones de años.

2. La fusión relativista de espacio-tiempo con su contenido físico tiene una consecuencia particular dentro de la estructura de esta cosmogonía: la explosión del átomo primario y la expansión del espacio son *aspectos de un solo e idéntico proceso*. La explosión del *quantum* original de energía no tuvo lugar *en* el recipiente preexistente del espacio euclidiano, sino que el propio espacio cobró existencia *con* este proceso. Desde luego, el espacio

---

[31] G. Lemaître, "The Beginning of the World From the Point of View of Quantum Theory", *Nature*, vol. 127 (1931), p. 706; reimpreso en *The Primeval Atom: An Essay on Cosmology* (Nueva York, Van Nostrand, 1950), pp. 17 y sigs.

de Lemaître no es el espacio de Euclides y Newton, sino el de Caley-Klein; aunque es un espacio elíptico, su radio de curvatura está en constante crecimiento, haciendo retroceder a las galaxias. En este respecto, difiere del modelo cosmológico «estático» de Einstein, en el que la variación de la constante espacial sólo es admitida a escala local. (En las cosmologías newtonianas esta constante es en todas partes y en todos los niveles de magnitud invariablemente igual a cero.)

3. La segunda consecuencia de la fusión relativista del espacio-tiempo con su contenido se refiere al tiempo. En la cosmología de Lemaître la dinamización del espacio por medio de su unión con el tiempo es aún más evidente que en la teoría general de la relatividad, y ya hemos tenido la oportunidad de acentuarla brevemente. La idea profética del matemático francés Calinon a finales del pasado siglo acerca de la posibilidad de un *espacio físico* con una constante espacial variante quedó así vindicada, a pesar de la advertencia de Russell de que esto conduciría a «los más groseros absurdos» [32].

Incluso había una implicación de la teoría que no se puede encontrar en los modelos cosmológicos «estáticos» anteriores y que afectó profundamente a una faceta clásica que hasta entonces había sobrevivido a todos los cambios revolucionarios: *la infinidad del tiempo clásico* o su *eternidad sin principio.* Esta antigua idea griega, resucitada por Giordano Bruno en el siglo XVI, dominó el pensamiento clásico sin excepción; todos los filósofos y científicos, independientemente de sus preferencias filosóficas, la aceptaron sin discusión. Ya creyesen o no en la eternidad del universo físico, coincidían en este punto. La única diferencia entre Gassendi y Newton de mentalidad deísta por un lado, y el Spinoza de mentalidad panteísta o los intransigentes La Mettrie y Laplace por otro lado, era que para los primeros existía la eternidad de duración *vacía antes* del principio del mundo, mientras que para los segundos la eternidad del pasado siempre había estado llena por el contenido material. Incluso la famosa antinomia de Kant trató del dilema de si el mundo empezó o no *en* el tiempo.

La teoría de Lemaître, en el verdadero espíritu relativista, descarta la idea de tiempo vacío como desprovista de significado

[32] Compárese el capítulo III de esta obra, nota 23. Las ideas de Calinon fueron defendidas en su artículo "Les espaces géometriques", en *Revue Philosophique,* vol. 27 (1889), pp. 588-595.

físico; preguntar qué había *antes* del principio del tiempo es tan disparatado como preguntar qué hay detrás del espacio esférico. En la teoría del universo en expansión, en contra de las afirmaciones clásicas hechas en nombre de la homogeneidad del tiempo, *existen* las únicas épocas de la historia cósmica; el universo no es una máquina cíclica que corre a través de fases homogéneas que se pueden repetir, sino el proceso cuyas fases sucesivas son heterogéneas. Especialmente este momento único es el principio del universo, «la hora cero», que, al contrario que todos los otros momentos subsecuentes, carece de antecesores. *Non in tempore sed cum tempore finxit Deus mundum* (Dios hizo el mundo no en el tiempo, sino con el tiempo) [33], escribió San Agustín, y si desconsideramos este lenguaje teológico, apenas podemos negar que su pensamiento anticipó tanto el carácter finito del pasado cósmico como la coextensividad del tiempo con el proceso físico concreto.

Muy pocos pensadores del período clásico adoptaron la actitud «finitista» de San Agustín hacia el pasado cósmico. Renouvier y su escuela en Francia, F. C. S. Schiller en Inglaterra, De Witt Parker en los Estados Unidos, y algunos otros se atrevieron a desafiar al dogma oficial del infinitismo que había sido aceptado de una manera casi exclusiva [34].

Al negar el tiempo vacío y al insistir sobre la coextensividad del tiempo (más exactamente, del tiempo-espacio) con el universo físico, la teoría de Lemaître es indiscutiblemente una *teoría relacional* del tiempo y el espacio. Pero, al contrario que la teoría de Boltzmann, no sólo es compatible con la irreversibilidad del tiempo, sino que incluso la requiere. En la expansión indireccional del universo la irreversibilidad de la transformación encuen-

---

[33] San Agustín, *De Civitate Dei*, XI, 5.

[34] Charles Renouvier, *Les principes de la nature*, 2.ª ed. (París, 1892), pp. 82-83; F. C. Schiller, *Riddles of the Sphinx: A Study in the Philosophy of Humanism* (Londres, Swann Sonnenschein, 1910), pp. 45-46; De Witt Parker, *Experience and Substance* (University of Michigan Press, 1941), pp. 177-180. La crítica del concepto de infinidad real fue recientemente resucitada por Max Black (compárese "Achilles and the Tortoise", *Analysis*, XI, 1950-51, pp. 91-101; también *Problems of Analysis*, XII, 1951-52, pp. 67 y sig.), pero ninguno de ellos la aplicó al concepto de pasado infinito. Sin embargo, lo hizo G. J. Whitrow, cuando, al criticar la teoría de firme estado del universo, defendió la prueba de Kant acerca de la primera tesis contra la crítica superficial de Russell. Compárese su artículo "The Age of Universe", en *The British Journal for Philosophy of Science*, V (1955), pp. 215-225; compárese también su libro *The Structure and Evolution of the Universe* (Harper, Nueva York, 1959), pp. 195-196.

tra su expresión más sorprendente. Hemos visto que la irreversibilidad del tiempo, así como el propio tiempo —las expresiones son inseparables—, seguían siendo entidades fantasmales y diáfanas dentro de la estructura cinético-corpuscular clásica; era muy difícil expresarlos en términos de configuraciones *recurrentes* de partículas *inmutables*. Por esto era imposible definir la irreversibilidad del tiempo por medio del declive de entropía cinéticamente interpretado. La situación es diferente en la teoría del universo expansivo, que es asimétrico con respecto al pasado y al futuro. Es cierto que podemos postular *ciclos sucesivos de expansión y contradicciones* mediante los cuales pueden salvarse aparentemente tanto la infinidad clásica como la reversibilidad del tiempo.

Pero lo que hace que resulten sospechosos tales intentos es que son demasiado evidentemente inspirados por los modos de pensamiento clásicos. El impulso a trazar «el curso del tiempo» hacia atrás, más allá de «la hora cero», es demasiado fuerte para resistirlo, a menos que recordemos la insuficiencia de todas las analogías estáticas geométricas y especialmente *euclidianas* cuando tratemos del problema del tiempo. Preguntar qué había «antes del tiempo» es tan disparatado como preguntar qué hay *detrás* del espacio esférico. Dentro de la estructura euclidiana, la pregunta de Arquitas y Lucrecio «¿Qué hay *detrás* del denominado límite del mundo?» tenía sentido porque el segundo y especialmente el tercer postulado de Euclides implicaban la infinidad del espacio; pero la misma pregunta carece de significado si aceptamos la geometría de Riemann. De manera análoga, la pregunta «¿Qué había *antes* del denominado principio del mundo?» es inevitable mientras imaginemos el tiempo por medio de una línea recta euclidiana que puede extenderse en una u otra dirección. Pero sabemos que no sólo las analogías euclidianas, sino *todas* las geométricas, son intrínsecamente inadecuadas para expresar la naturaleza del tiempo; incluso las analogías estáticas no euclidianas pueden conducirnos a la idea absurda de tiempo «curvo» o incluso «cerrado», mientras que la analogía del tiempo con una línea recta euclidiana conduce a la idea contradictoria de pasado realmente infinito. Sólo cuando se incorporan la sucesión y el cambio en los propios fundamentos de la geometría existe una mejor probabilidad de expresar la naturaleza dinámica de la transformación, incluyendo su irreversibilidad.

Aún menos que la infinidad puede ser restaurada la reversibilidad clásica del tiempo por medio de la teoría de expansiones y contradicciones alternantes del espacio. Es verdad que si *definimos* la dirección del tiempo mediante la expansión del espacio, su *contracción* definirá la dirección *opuesta* del tiempo. Pero entonces nos enfrentamos con la misma dificultad que encontramos en la teoría de Reichenbach acerca de segmentos de tiempo *contradirigidos, sucediéndose unos a otros*. El propio término «sucediéndose» introduce una especie de supertiempo que debe ser considerado como irreversible, «indireccional», para que nuestro lenguaje siga siendo autoconsistente en el sentido más elemental. Pues una de dos: *o* afirmamos que los períodos de expansión y contracción *se suceden* unos a otros, y entonces se introduce la relación asimétrica de *antes-después* y con ella la irreversibilidad; o decimos con Reichenbach que el supertiempo sólo tiene las propiedades *ordinales* en un sentido geométrico; en otras palabras, que *carece* de sucesión, lo mismo que la meseta montañosa mediante la cual Reichenbach simbolizó la curva de entropía. ¡En este último caso, llegamos a la conclusión absurda de que los segmentos de tiempo contradirigidos son realmente simultáneos, o, aplicado a la cosmogonía de Lemaître, que el universo se está expansionando y contrayendo simultáneamente!

Afirmamos la irreversibilidad del tiempo como consecuencia de la emergencia de novedad en cada momento. Aunque Lemaître no insiste sobre el eslabón lógico entre estas dos facetas de la temporalidad, correctamente acentúa que esta teoría no es determinista. Esto puede parecer sorprendente, porque la teoría general de la relatividad era determinista en virtud de su carácter macroscópico. Pero precisamente aquí radica la dificultad entre la cosmología relativista clásica y la cosmología de Lemaître; por su propia naturaleza, esta última cubre el hueco entre el nivel macroscópico y microscópico. Pues tal hueco *no* ha existido en el pasado: el universo surgió del superfotón primario que se hallaba sujeto al principio de indeterminación.

Claramente, el *quantum* inicial no podía ocultar en sí todo el curso de la evolución; pero, según el principio de indeterminación, eso no es necesario. Ahora se entiende que nuestro mundo es un mundo *donde algo sucede realmente;* no es preciso que toda la historia del mundo haya sido escrita en el primer *quantum* como una canción en un disco fonográfico. Toda la materia del mundo debió estar presente al prin-

cipio, pero la historia que tiene que narrar puede ser escrita paso a paso[35]. (Hemos añadido la cursiva.)

Es verdad que la cosmogonía de Lemaître no es la única. Existen las rivales «teorías del estado estacionario», de Hoyle, Bondi y Gold, que conservan dos facetas de la física clásica —la infinidad del espacio y el tiempo— solamente a costa de sacrificar la constancia de la materia. Lo importante es que el aspecto dinámico del universo halla también su expresión en las teorías rivales: en la idea de creación continua de la materia. Pero, como observó Whitrow, además de algunas otras dificultades, el concepto polémico de pasado realmente infinito sigue siendo un punto débil de la teoría. Su justificación mediante la idea claramente tradicional de la homogeneidad de la naturaleza (el «Principio Cosmológico Perfecto») apenas la hace más convincente, especialmente cuando recordamos la influencia subrepticia de las imágenes euclidianas sobre la formación del concepto de pasado sin principio[36].

De todas formas, al tratar de cuestiones cosmológicas y cosmogónicas, no debemos olvidar nunca que estamos pisando un terreno muy polémico. En este respecto, las observaciones de Bridgman en su ensayo «On the Nature and Limitations of Cosmical Inquiries» son ahora tan pertinentes como lo eran cuando fueron escritas hace un cuarto de siglo[37]. Por esta razón, nuestra discusión de los problemas cosmológicos ha sido muy de trámite y tiene carácter de apéndice más que de tratamiento sistemático. Un hecho es seguro: la estructura conceptual clásica se ha trans-

---

[35] LEMAÎTRE, *The Primeval Atom*, pp. 18-19.

[36] Algunas objeciones filosóficas contra la teoría de Hoyle fueron expuestas por HERBERT DINGLE en su artículo "Cosmology and Science", *Scientific American*, vol. 193 (sept. 1956), pp. 224 y sig., especialmente p. 236. El artículo de HOYLE "The Steady-State Universe" apareció en la misma edición (pp. 157-166), junto con el artículo de G. GAMOW "The Evolutionary Universe" (pp. 136-156). Compárese FRED HOYLE, *The Nature of the Universe* (Harper, Nueva York, 1950); H. BONDI, W. B. BONNOR, R. A. LYTTLETON, G. J. WHITROW, *Rival Theories of Cosmology* (Oxford University Press, 1960). En cuanto al comentario crítico de Whitrow, compárese nota 34.

[37] *Scientific Monthly*, vol. 37 (1933), p. 385; reimpreso en P. BRIDGMAN, *Reflections of a Physicist*, pp. 278-308. Compárese también la discusión de G. J. WHITROW y H. BONDI "Is Physical Cosmology a Science?", en *The British Journal for the Philosophy of Sciences*, vol. IV (1953-54), pp. 271-283; también el *symposium* "The Age of the Universe", en la misma revista, vol. V, pp. 181-274, en el que tomaron parte M. SCRIVEN, J. T. DAVIES, E. J. OPIK, G. J. WHITROW, R. SCHLEGEL y B. ABRAMENKO. En la misma edición apareció el artículo de MILTON MUNITZ "Creation and 'New' Cosmology" (pp. 32-46), que fue más tarde incorporado en su libro *Space, Time and Creation* (Free Press, Glencoe, 1956)

formado hasta tal punto que la cosmogonía clásica del universo periódico o casi periódico quedó privada de su fundamento. Aunque es todavía obscura la forma definida de la cosmogonía futura, hay una creciente evidencia de que el carácter irreversible y creativo de la transformación encontrará en ella el mismo lugar importante que en la teoría de la relatividad y la mecánica ondulatoria. Hemos visto que la teoría de la relatividad estableció el carácter *sucesivo* de la causalidad, o sea, la no simultaneidad de causa y efecto, eliminando todas las acciones instantáneas; que reafirmó la asimetría entre el pasado y el futuro estableciendo la irreversibilidad de las líneas universales. También hemos visto que la mecánica ondulatoria restauró la potencialidad del futuro reconociendo la probabilidad objetiva de los sucesos. Es difícil creer que estas facetas se reflejen en las teorías cosmológicas y cosmogónicas futuras.

CAPITULO DECIMOCTAVO

En busca de nuevos modos de entendimiento

Después de la transformación tan radical de los conceptos clásicos básicos de espacio, tiempo, materia y movimiento, muy poco queda del esquema cinético-corpuscular tradicional de la naturaleza. Es natural que el determinismo riguroso del tipo laplaciano fuese seriamente discutido ahora que se está desintegrando el esquema en que se basaba. La íntima conexión entre el modelo cinético-corpuscular de la naturaleza y el determinismo estricto se puede ver en la propia forma en que ha sido expuesto este último: Dado el estado del universo en un instante dado, o sea, dada cierta configuración instantánea de todas las partículas que componen el mundo y su momento, entonces todas las configuraciones futuras (así como todas las pasadas), de las que se compone la historia cósmica, son completa y claramente determinadas.

Ni un solo componente de este modelo laplaciano de la naturaleza quedó sin ser afectado por la tormenta contemporánea de la física. No existe eso de «estado del mundo en un instante dado»; la teoría de la relatividad demostró la imposibilidad de secciones transversales instantáneas en la historia universal de cuatro dimensiones. Además, a la luz del principio de indeterminación, ni siquiera a nivel microfísico son posibles tales secciones. No existe eso de «configuración instantánea»: toda configuración implica una yuxtaposición de elementos simultáneamente coexistentes, y en el tiempo-espacio no es posible ninguna yuxtaposición, ninguna simultaneidad en el sentido objetivo. Las teorías de *quanta* y la mecánica ondulatoria indican que no hay trayectorias continuas cuya continuidad en el espacio y el tiempo garanticen la identidad de las partículas en diferentes posiciones e instantes. Además, desde 1932 los físicos vienen familiarizándose con la ausencia de permanencia (que es simplemente otra forma de decir ausencia de identidad en el tiempo) de las «par-

tículas» elementales. Además, ni siquiera en un instante podemos hablar de partícula definida, pues la partícula se define por la asociación de momento definido y localización definida que, según el principio de indeterminación, no puede ser hallada en la naturaleza.

Es verdad que el principio de indeterminación puede ser considerado como una simple limitación humana y técnica que nos encubre «los parámetros causales ocultos». Pero tal hipótesis de determinismo a nivel subcuántico es altamente improbable; implicaría la divisibilidad del átomo de acción y así significaría un retorno disfrazado a algunas facetas anticuadas de la física clásica, en particular al concepto de continuidad espaciotemporal. La eliminación del determinismo riguroso significa que el mundo físico recupera, empleando la expresión de Eddington, «la cualidad dinámica» que había sido eliminada en el pensamiento clásico. En otras palabras, al universo estático de Laplace le está sustituyendo ahora «el mundo abierto» de Weyl [1].

¿Es tan sorprendente esta restauración del carácter dinámico de la realidad física? Si nos parece sorprendente, sólo demuestra hasta qué punto nuestro pensamiento se halla todavía influido por la perenne tradición que ha dominado tanto en la filosofía como en la física. No es menester volver a exponer las razones dadas en el capítulo IX acerca de por qué la realidad del tiempo se hallaba tan obscurecida en el cuadro clásico del mundo físico y cómo la tendencia a degradar el tiempo hasta el nivel fenoménico o epifenoménico era común tanto al determinismo naturalista como al idealismo filosófico desde Platón a Bradley. Al reafirmar la realidad del tiempo, la física moderna simplemente da un peso adicional a las objeciones que han sido elevadas contra la eliminación del tiempo sobre fundamentos epistemológicos.

Ya hemos dirigido la atención a la idea de Helmholtz, significativa porque fue expresada en la época de los más grandes triunfos de la física clásica. Según Helmholtz, el carácter temporal es la *única* faceta compartida por la realidad física transfenoménica y nuestra experiencia [2]. En todas las otras zonas de nuestra experiencia sensorial la percepción es únicamente simbólica y es sorprendente la disimilitud del estímulo y su registro

---

[1] A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, pp. 92 y sig.; H. Weyl, *The Open World* (Yale University Press, 1932), especialmente p. 55.

[2] Compárese capítulo XII de esta obra, nota 27.

consciente: el impacto de los fotones se traduce a cualidades visuales, el impacto de las ondas de aire a cualidades auditivas, mientras que los impactos moleculares directos sobre varias partes del cuerpo humano son interpretados por nuestra conciencia de modos diferentes a las sensaciones de tacto, calor, frío, gusto y olfato. Si bien es verdad que el carácter espacial pertenece claramente a las sensaciones visuales y táctiles, es más polémico afirmar que pertenece a *todas* las sensaciones, como creen algunos psicólogos y filósofos. Por otra parte, el carácter temporal inunda *toda* nuestra experiencia; no sólo nuestras sensaciones, sino también las imágenes de nuestra memoria, pensamientos, emociones y voliciones están claramente en el tiempo, mientras que los últimos grupos no muestran ni siquiera un indicio de espacialidad. Es difícil creer que ninguna faceta objetiva de la realidad física correspondería a este carácter de nuestra experiencia que todo lo llena. Con palabras de Helmholtz:

> Los sucesos, como nuestras percepciones de los mismos, tienen lugar en el tiempo, para que las relaciones temporales de éstas puedan proporcionar una copia fiel de las de aquéllos. La sensación del trueno sigue a la sensación del relámpago lo mismo que la convulsión sonora del aire por medio de la descarga eléctrica llega al lugar del observador más tarde que la del éter luminífero [3].

Todos los intentos de eliminar el tiempo de la realidad física crean un enigma metafísico insoluble: ¿Cómo puede transformarse la realidad intemporal o desplegarse en su manifestación sucesiva ilusoria? Tales intentos resultan aún más grotescos cuando los efectúan científicos de mentalidad naturalista con inclinaciones de psicología de conducta; pues a la conciencia, que es a menudo descartada por ellos como epifenómeno o incluso como un simple residuo de la «metafísica mentalista», se le abona súbitamente la realización imposible de transformar el carácter estático e intransformable de la realidad en un modelo sucesivo y cambiante. ¿Cómo la conciencia puede ejecutar alguna vez este truco mágico, especialmente si se asocia con procesos neurales, o sea, con cierta porción del mundo físico que se denomina intemporal? Hablando estrictamente, para los que niegan el carácter temporal de la realidad física es inconsistente incluso emplear un término dinámico como «*proceso* neural». Afirmar

---

[3] Traducido por W. James, *The Principles of Psychology*, vol. I, pp. 627-628.

que la conciencia *se desliza* a lo largo de la línea universal ya trazada en la dirección del «futuro» implica un dualismo intolerable del mundo temporal de la conciencia y el mundo estático de la física. Postulando tal dualismo, que es sorprendentemente análogo al dualismo kantiano de «fenómenos» y «noumenos», no se gana nada, no se explica nada; por el contrario, se crea un problema adicional y enteramente superfluo. Por otra parte, la dificultad desaparece inmediatamente si admitimos francamente y sin reservas la realidad objetiva de la transformación.

Sin embargo, debemos admitir que la citada idea de Helmholtz necesita algunas limitaciones importantes. En primer lugar, aparentemente implica que el carácter *extensivo* de nuestra percepción sensorial es puramente fenoménico; en otras palabras, que ninguna cosa objetiva corresponde a esto en la naturaleza. Helmholtz sugiere que las cualidades primarias de la materia están constituidas no por sus propiedades geométricas y mecánicas, sino por las relaciones temporales de los ulteriores sucesos inespecificados. Esto parece acercarse bastante a la conclusión sacada en los capítulos XI y XIV acerca de la naturaleza dinámica del tiempo-espacio, y acerca de la primacía de los sucesos. Pero lo que la física elimina es únicamente el espacio estático instantáneo, no la espacialidad en general. Fracasan los intentos de derivar relaciones espaciotemporales de relaciones puramente temporales, y por esta razón es más exacto hablar de la dinamización más bien que de la temporalización del espacio. Más específicamente, tenemos que recordar que debemos suponer *más de una serie temporal causal* a fin de explicar el concepto de distancia espaciotemporal y proximidad espaciotemporal, que no pueden deducirse de la simple relación de «antes-después»; y que esta pluralidad de series causales contemporáneas y cotransformativas es la propia base de este concepto generalizado de espacialidad [4]. Incluso la palabra «espacialidad» es desorientadora. Es fácil interpretarla erróneamente en el sentido de espacio separable del tiempo. Es más exacto decir que la espacialidad es meramente ese aspecto de la realidad dinámica indivisible del tiempo-espacio que es diferente de la simple relación de sucesión si bien no es equivalente a la relación estática de yuxtaposición. Se le puede llamar «anchura transversal de la transformación» siempre que tengamos en cuenta que «transversal» no es «perpendicular»:

[4] Compárese capítulo XIII de esta obra, especialmente pp. 223-225.

son imposibles las secciones «perpendiculares» en la transformación de cuatro dimensiones.

Hemos señalado que la teoría de la relatividad, si bien elimina el concepto de simultaneidad de instantes, retiene el concepto de «simultaneidad de lapsos» o de «intervalos contemporáneos»; y esta relación de *independencia contemporánea* es lo que designamos mediante el término metafórico «anchura transversal de la transformación». Encontramos esta anchura transversal tanto a escala cósmica como microfísica; señalamos que el concepto de líneas universales sin anchura transversal es otro ejemplo de la engañosa geometrización mediante la cual las series temporales concretas se asimilan a las líneas geométricas de una sola dimensión. Por esta razón, el término «tubos causales» es menos desorientador que «líneas causales». Si admitimos que la transformación es extensiva en su naturaleza, entonces el carácter extensivo de nuestra percepción no puede ser un simple fenómeno o epifenómeno, y la extensividad o espacialidad en el sentido anteriormente explicado debe ser enumerada entre las cualidades primarias del mundo físico.

La segunda reserva se refiere a la afirmación de Helmholtz acerca de que «las relaciones temporales de nuestras percepciones pueden proporcionar una copia fiel de las relaciones temporales de los sucesos». Esto es verdad únicamente en un sentido muy limitado. Por el ejemplo que emplea Helmholtz, está claro que las relaciones temporales de nuestras percepciones descubren únicamente las relaciones temporales de los estímulos físicos que afectan directamente a la superficie de nuestros cuerpos o nuestros órganos sensoriales. Las relaciones temporales de otros sucesos físicos (o sea, *fuera* de nuestros cuerpos) son *siempre* inferidas, y nuestra experiencia serenadora acerca del concepto clásico de la simultaneidad ha demostrado cuán engañosas pueden ser tales inferencias. Además, las consecuencias de nuestras percepciones son únicamente «copias fieles» de esos estímulos físicos que se suceden unos a otros a un ritmo no demasiado diferente del ritmo temporal de nuestra conciencia. Para que sean percibidos, los estímulos sucesivos no deben ir separados por intervalos demasiado pequeños; de lo contrario, se fusionarían en la simultaneidad espuria del presente especioso. Tuvimos ocasión de ver cómo la extensión temporal de nuestra percepción sensorial nos impide percibir *relaciones microcrónicas;* a la indivisibilidad temporal subjetiva de nuestras cualidades sensoriales corresponden

millones de sucesos microscópicos sucesivos. Podemos expresar esto diciendo que el presente psicológico tiene una extensión temporal incomparablemente más ancha que el presente de los sucesos físicos.

Sin embargo, esta propia manifestación acerca de que la diferencia entre el tiempo experimentado por nosotros y el tiempo de los sucesos físicos contiene también la pista de su similitud estructural. Pues cada vez está más claro que el concepto de presente instantáneo (el «presente de filo de cuchillo» de William James) es inaplicable no sólo al tiempo psicológico, sino también al tiempo de la física. Desde la época de James, los psicólogos han coincidido generalmente en que el presente matemático es una simple ficción ideal, a la que ninguna cosa concreta corresponde en la corriente de nuestra conciencia. Por otra parte, el propio término «presente especioso» indicaba su contraste con el denominado verdadero presente matemático, o sea, sin duración, que, si bien no puede ser hallado en nuestra experiencia, sigue siendo el presente auténtico del mundo físico.

Sería superfluo repetir lo que ya se ha dicho acerca de este tema en el capítulo III: cómo la creencia en la existencia de instantes físicos era un aspecto de la creencia en la divisibilidad infinita del tiempo y cómo toda la evidencia existente en la física clásica la apoyaba aparentemente. Hasta que surgieron los hechos recientemente descubiertos de la teoría de *quantum* y la mecánica ondulatoria, no se suscitaron nuevas dudas acerca de la legitimidad del concepto de instante sin duración incluso en el reino de los sucesos físicos. Estas dudas condujeron a las teorías atomísticas del tiempo, pero ya hemos señalado cuán insatisfactorias eran: el concepto de «cronón» implicaba un retorno disfrazado al concepto de instante que se proponía eliminar.

Incluso algunos matemáticos se hallan conscientes de la utilidad limitada del concepto de continuidad espaciotemporal a nivel microfísico. La «topología sin puntos» de Karl Menger, o sea, la topología de terrones sin límites precisos, es un síntoma de esta creciente conciencia. La dificultad está en que nuestra subconciencia visual introduce inmediata y subrepticiamente los símbolos espaciales; y mientras que «el curso del tiempo» sea simbolizado por medio de una línea geométrica, su divisibilidad infinita se impone a nuestras mentes. Cuando tratamos de detener el proceso de dividir idealmente el tiempo (o el espacio) en intervalos cada vez más pequeños, nos parece arbitrario cualquier

límite impuesto; e incluso cuando admitimos la existencia de «terrones», inmediatamente aflora la idea de extremidades semejantes a puntos, mediante las cuales se hallan separados de los «terrones» vecinos.

Pero si el tiempo de nuestra conciencia y el tiempo de la física son pulsaciones en su naturaleza, ¿podemos penetrar mejor en «la topología sin puntos» al explorar la estructura del tiempo psicológico? ¿Es posible hallar un esquema adecuado, suficientemente general y suficientemente flexible para ser aplicado a la física y a la psicología?

Este método no es tan nuevo como parece. Incluso en la época en que se hacía la distinción más patente entre «mental» y «físico» se creía que hay un esquema de categorías suficientemente general para aplicarlo tanto a la física como a la psicología. Este esquema de categorías era la relación de substancia-atributo. Descartes creía que tanto las entidades físicas como mentales son substancias, diferenciadas únicamente por sus atributos. Desde la época de Descartes este esquema substancialista de categorías ha dominado todo el pensamiento racionalista, e incluso el empirismo, ya en forma británica ó continental, nunca se ha desembarazado de él. El concepto de substancia subsistía de una forma disfrazada no sólo en el Ego Transcendental de Kant (a pesar de la crítica de Kant acerca del alma substancial), sino también en el sensualismo de Hume, Condillac y Mach. Los empiristas simplemente cortaban en diminutos pedazos la substancia cartesiana que, ya fuesen llamados «impresiones» por Hume, «sensaciones» por Condillac, o simplemente «elementos» por Mach, retenían las características de la substancia cartesiana a escala más pequeña [5].

Por entonces no estaba suficientemente claro que la relación de substancia-atributo reflejaba demasiado oficiosamente la relación lingüística de nombre-adjetivo; sin crítica alguna, se había supuesto que la estructura gramatical es una réplica fiel de la estructura de la realidad. Sólo bajo el impacto de James, Ward y la psicología de la Gestalt, se disolvieron los átomos psíquicos de substanciales ficticios en la totalidad dinámica de la corriente de pensamiento. Aunque en la física el concepto de substancia parecía estar bastante bien establecido a finales de siglo, finalmente cedió

[5] D. HUME, *A Treatise on Human Nature*, lib. I, parte IV, sec. V; A. E. MURPHY, «Substance and Substantive", *University of California Publications in Philosophy*, IX, 64; M. CAPEK, "The Reappearance of the Self in the Last Philosophy of William James", *The Philosophical Review*, LXII, núm. 4 (oct. 1953), p. 534.

a la creciente presión de los hechos recientemente descubiertos. El éter substancial, así como las partículas materiales substanciales, están siendo sustituidos por sucesos. Con palabras de Jeans:

> Así los sucesos deben ser tratados como constituyentes objetivos fundamentales, y ya no debemos pensar en el universo como compuesto de trozos sólidos de materia que persisten en el tiempo y se mueven en el espacio. ...Los sucesos y no las partículas constituyen la verdadera realidad objetiva.... [6].

A la misma conclusión llegan pensadores tan diferentes como Russell, Jeans, Whitehead, Bergson y Bachelard. Unas cuantas líneas después del pasaje que acabamos de citar, Jeans cita con aprobación a Russell:

> Los sucesos que suceden en nuestra mente son parte del curso de la naturaleza, y no sabemos que los sucesos que suceden en otra parte sean de un tipo totalmente distinto [7].

Evidentemente existe una creciente conciencia no sólo acerca de que la categoría de substancia debe ser sustituida por la de proceso, sino también acerca de que el proceso es una categoría aplicable a los reinos físico y mental. Las palabras de Bertrand Russell indican no sólo que el substancialismo tradicional ha muerto tanto en la física como en la psicología, sino también que la distinción cartesiana entre lo mental y lo físico debe ser abandonada, porque en cualquiera de los dos reinos el concepto de suceso se hace fundamental. Esto no significa que se borra completamente la distinción entre los dos reinos. Aunque tanto la «materia» como la «mente» están constituidas por sucesos, subsisten las diferencias entre sucesos «físicos» y «psicológicos». Ya ha sido mencionada una diferencia sumamente conspicua: *la diferencia de extensión temporal.* Tal vez se debe buscar a lo largo de esta línea la verdadera solución del problema tradicional de mente-cuerpo,, y la obra *Matter and Memory*, de Bergson, representa un interesante intento en esta dirección.

Pero este problema queda fuera del alcance de este libro; lo importante para nuestra intención presente es que, una vez que sean eliminados el prejuicio substancialista y el patente dualismo cartesiano, quedará abierto el camino para una búsqueda de nue-

---

[6] J. JEANS, *The New Background of Science*, p. 288.
[7] B. RUSSELL, *Outline of Philosophy*, p. 311.

vos modos de entendimiento, totalmente distintos de los modelos tradicionales. Si aceptamos la conclusión de la parte II acerca de que los cambios han sustituido a los desplazamientos espaciales y los sucesos han remplazado a las partículas, ¿no sería posible adquirir una visión más clara de algunas facetas paradójicas del mundo de la física contemporánea explorando y analizando esos estratos de la experiencia en que se experimentan el cambio y los sucesos, si no inmediatamente, al menos con el máximo de prontitud y pureza, o sea, en nuestra conciencia introspectiva de la transformación?

Naturalmente, al principio nada parece más sospechoso que la frase «modelos introspectivos en la física»; el temor de ser acusados de reincidir en el animismo o hilozoísmo impide a muchos pensadores serios incluso tomar en consideración este método. Sin embargo, tal temor es irracional y los que se encuentran obsesionados por él no se percatan de hasta qué punto están dominados por el dualismo cartesiano tradicional y hoy insostenible que relega *todas* las cualidades exclusivamente al reino mental, a la vez que apoya el pangeometrismo y el panmatematismo en el mundo físico. Es ciertamente injusto poner el panpsiquismo de Leibniz o de Whitehead epistemológicamente al mismo nivel que el hilozoísmo presocrático o animismo primitivo.

Para evitar cualquier interpretación errónea declaremos con toda claridad que no se debe reintroducir cualidades secundarias en el mundo objetivo de la física. Proponemos precisamente lo contrario: confinar las cualidades primarias dentro de nuestra experiencia privada. Si hay cualidades en el mundo físico son ciertamente diferentes de las cualidades sensoriales tal cual las experimentamos. Negar estas cualidades trascendentes sería tan poco meticuloso como negar los colores una persona ciega a los colores, o negar los sonidos una persona sorda a los sonidos, o bien que los seres humanos nieguen las cualidades que indudablemente experimentan algunos animales bajo el impacto de ondas ultrasónicas de rayos ultravioletas. Pero aunque los sucesos físicos no pueden ser percibidos en su carácter inmediato y en su condición específica cualitativa, tienen ciertas facetas estructurales en común con los sucesos que constituyen nuestra corriente de conciencia, o sea, su carácter dinámico a manera de suceso. Es este carácter dinámico el que tenemos que analizar, creyendo con Whitehead que «la textura de la experiencia observada, a modo de

ilustración del esquema filosófico, es tal que toda experiencia relacionada debe exhibir la misma textura» [8].

Lo que sigue es un simple bosquejo. La elaboración sistemática queda fuera del alcance de este libro. Aunque el carácter temporal llena la totalidad de nuestra experiencia, tanto sensorial como introspectiva —Kant expresó esto en su habitual terminología abstrusa dando al tiempo la denominación de «forma del sentido tanto interior como exterior»—, es cierto que se halla presente con *diferentes grados de conspicuidad* en sus diferentes estratos. Es menos conspicuo en el reino de las sensaciones visuales y táctiles; esto explica el hecho de que, en el modelo cinético-corpuscular de la naturaleza que se hallaba construido de los mismos elementos sensoriales, se viese tan obscurecida la realidad del tiempo. Pues la única forma en que el tiempo se podía manifestar en este esquema era la de *movimiento* de materia *constante* a través del espacio *invariable*. Como hemos visto, era entonces psicológicamente natural que la constancia de la materia y la inmutabilidad del espacio tendiesen a obscurecer la realidad del movimiento. Aun cuando la atención de los físicos convergía en el movimiento, se sentían atraídos por sus características espaciales, que, junto con las leyes de conservación de la dinámica, relegaron a un último plano su naturaleza dinámica y sucesiva.

La situación es diferente cuando dirigimos nuestra atención a las sensaciones auditivas. Desde la época del antiguo atomismo, estas cualidades sensoriales han sido excluidas de «la naturaleza de las cosas», utilizando el término de Lucrecio, y ciertamente no pretendemos volver a dotarlas del *status* de objetividad, como intentaron los neorrealistas. Estamos convencidos de que para un físico hoy es imposible aceptar el postulado de empirismo inmediato de Dewey, según el cual «las cosas son como las experimentamos» [9]. Pero el sorprendente carácter dinámico de los datos auditivos descubrirá en un análisis el carácter general de la transformación con mayor claridad que otros datos, y así también será de utilidad para entender la naturaleza de la transformación física.

---

[8] A. N. Whitehead, *Process and Reality*, p. 5.

[9] John Dewey, "The Postulate of Immediate Empiricism", en *The Influence of Darwin on Philosophy and Other Essays on Contemporary Thought* (Nueva York, Holt, 1910), pp. 226 y sig. Este principio fue sostenido por Dewey en su *Experience and Nature* (1925) y defendido contra Reichenbach en 1939 (en *The Philosophy of John Dewey*, editado por Paul Schilpp, pp. 534-543).

Consideremos una pieza de música: por ejemplo, una melodía, o, mejor, una frase musical polifónica. Es apenas necesario acentuar su carácter sucesivo. Mientras que transcurre su movimiento sigue siendo incompleta, y en su desarrollo sucesivo captamos de la manera más viva y concreta el carácter incompleto de toda transformación. En cada momento particular un nuevo tono se añade a los anteriores; más exactamente, cada nuevo momento está constituido por la adición de una cualidad musical nueva. Pero aquí tenemos que ponernos en guardia contra la connotación aritmética habitual de la palabra «adición», y contra las escurridizas connotaciones espaciales asociadas con ella. Las unidades aritméticas siguen siendo distintas y cualitativamente homogéneas, sin que importe cómo sean agrupadas; su agrupación es puramente externa y de ningún modo afecta a su naturaleza. Una «nueva» unidad se añade *ab externo* a otras unidades sin modificarlas y sin ser modificada por ellas. Aunque tiene lugar en el tiempo la adición aritmética —que es simplemente una reagrupación de unidades preexistentes—, como cualquier otra operación mental, su resultado no siempre puede ser representado mediante un simbolismo espacial, o sea, como yuxtaposición de unidades simultáneamente existentes. La relación de las unidades aritméticas con la suma total es idéntica a la relación de *las partes con el todo en el espacio*.

En la experiencia musical de la melodía o la polifonía la situación es considerablemente diferente. La cualidad de un nuevo tono, a pesar de su individualidad irreducible, está matizada por todo el contexto musical antecedente, que, a su vez, se ve retroactivamente cambiado por la emergencia de una nueva cualidad musical. Los tonos individuales no son unidades exteriormente relacionadas que aditivamente componen la melodía; ni tampoco se ve obscurecida o diluida su individualidad en la unidad indiferenciada del todo musical. La frase musical es un *todo diferenciado sucesivo* que sigue siendo un todo a pesar de su carácter sucesivo y que sigue siendo diferenciado a pesar de su totalidad dinámica. Lo mismo que cualquier todo dinámico, exhibe una síntesis de unidad y multiplicidad, de continuidad y discontinuidad; pero no es la unidad de un todo simultáneo indiferenciado, ni es la pluralidad de unidades yuxtapuestas; ni tampoco es continuidad en el sentido matemático de continuidad infinita, ni la discontinuidad de los bloques atómicos rígidos. Por

esta razón, por paradójico que parezca, debe ser abandonada la distinción tradicional entre sucesión y duración [10].

Desde la época de Heráclito los filósofos que insisten sobre la naturaleza dinámica de la realidad luchan con las extremadas dificultades de expresar de forma lingüística adecuada esta paradójica «unidad de opuestos» que efectúa todo proceso temporal. No es extraño que Heráclito, lo mismo que Bergson muchos siglos después, fuese calificado de «obscuro». Nuestro lenguaje, en particular nuestro lenguaje escrito, se compone de signos discontinuos y estáticos cuya discontinuidad e inmutabilidad se confieren inconscientemente incluso a los significados dinámicos que expresan y que se ven así desfigurados. Esta discrepancia entre la lucidez de nuestra conciencia temporal y la dificultad de ponerla en palabras fue expresada en el famoso dicho de San Agustín:

> ¿Qué es entonces el tiempo? Si no me lo pregunta nadie, lo sé: si deseo explicárselo a alguien que me lo pregunta, no lo sé... [11].

Hoy conocemos la causa de esta discrepancia. Mientras que nuestra atención se desvíe de nuestra experiencia auditiva de la melodía a los signos visuales mediante los cuales se simboliza en una hoja de papel —mientras desviemos nuestra atención de cualquier todo temporal experimentado a su simbolismo estático—, es inevitable esta discrepancia. De aquí la conclusión de Whitehead acerca de que, al analizar el tiempo, se debe hacer una última apelación a la intuición, o sea, a nuestra conciencia directa del tiempo [12].

¿Qué relación particular tiene el precedente análisis, por muy a manera de bosquejo que sea, con el problema de la transformación física? ¿Qué luz arroja sobre los problemas de la física contemporánea? Hagamos de ello un breve resumen. Toda estructura musical es por su propia naturaleza desplegable e incompleta; también lo es la transformación cósmica, el tiempo-espacio de la física moderna. Las estructuras musicales, en virtud de su naturaleza esencialmente temporal, no pueden ser subdivididas *ad infinitum* sin ser destruidas; son, como señaló hace mucho tiem-

---

[10] Compárese mi artículo "'Stream of Consciousness' and 'Durée réelle'", *Philosophy and Phenomenological Research*, vol. X (1950), especialmente p. 351, nota 37.

[11] SAN AGUSTÍN, *Confessions*, lib. XI.

[12] WHITEHEAD, *op. cit.*, p. 32.

po Ehrenfels [13], *zeitliche Gestalten*, cuya duración es su mínimo existencial, que no puede ser acortado sin ser destruido. Como dice Whitehead, «una nota de música no está en un instante, sino que requiere también todo su período para manifestarse» [14]. Por esta razón, los todos musicales —como los procesos físicos— no son infinitamente divisibles; en cualquiera de los dos casos, los instantes sin duración son simples límites ideales, secciones arbitrarias en la continuidad dinámica de la transformación.

Es una desgracia que el término «continuidad» en el sentido matemático signifique realmente divisibilidad infinita, o sea, discontinuidad infinitamente repetida: precisamente lo contrario de continuidad en el sentido dinámico [15]. Pero si el concepto de continuidad matemática es inaplicable a la continuidad concreta de los procesos tanto psicológicos como psíquicos, sería igualmente incorrecto pasar a otro extremo y hablar de «la estructura atómica de la duración». Como señalamos en el capítulo XIII, la principal deficiencia de la teoría del cronón es que sustituye la sucesión de instantes sin duración por la de bloques atómicos en cuyos límites reaparecen los instantes hipotéticamente eliminados. Como esta teoría no se desvía básicamente de la simbolización geométrica del tiempo, simplemente sustituye la exterioridad mutua de los instantes-puntos por la exterioridad mutua de los intervalos-segmentos contiguos.

Pero en la experiencia temporal concreta la emergencia de novedad sólo es posible, por decirlo así, sobre el destacado fondo de su pasado inmediato; de forma análoga, una nueva cualidad musical del tono (provisionalmente) último adquiere su individualidad tanto en contraste como en conexión con su contexto musical antecedente. No hay límites semejantes a instantes que separen dos momentos sucesivos de la duración experimentada; sólo cuando en nuestra imaginación trazamos una línea geométrica ficticia debajo del *continuum* cualitativo de la duración sentimos la tentación de establecer tales límites, sin darnos cuenta de que pertenecen no al propio proceso temporal, sino únicamente a su sustituto simbólico.

Dos «presentes especiosos» sucesivos no van separados por instantes imaginarios sin duración, sino *por sus diferencias cua-*

---

[13] C. EHRENFELS, "Über Gestaltqualitäten", *Zeitschrift für wissenschaftliche Philosophie*, vol. XIV (1890), pp. 249-292.

[14] A. N. WHITEHEAD, *Science and the Modern World*, p. 54.

[15] Compárese capítulo XIII de esta obra, y capítulo XVI, nota 33.

litativas. El término «separación» es desorientador; sugiere separación en sentido espacial. Es preciso que nos demos cuenta de que las diferencias cualitativas de los momentos sucesivos de la duración son intraducibles a imágenes espaciales. Diferir cualitativamente y ser distintos en el espacio son dos nociones diferentes. A menos que nos percatemos de esto, la continuidad pulsatoria de la duración seguirá siendo para nosotros eternamente obscura.

El término «pulsatorio» es preferible a «atómico»; «atómico» sugiere demasiado fuertemente la imagen de un sólido bloque con superficies claramente definidas. Pero la elección de la metáfora no es crítica, siempre que tengamos en cuenta el significado sin imagen de una duración cuya continuidad heterogénea es tan extraña a la continuidad matemática de instantes sin duración como a la contigüidad de segmentos claramente delimitados.

El modelo dinámico que acabamos de analizar no se limita a la experiencia auditiva; la percepción de una frase musical lo descubre solamente de una manera muy conspicua. El mismo modelo se halla presente en todos los tipos de nuestra experiencia, ya sea sensorial o introspectiva; como demostró Bergson, incluso la percepción visual de un objeto inmóvil, *cuando es analizada con atención*, exhibe básicamente la continuidad pulsatoria [16]. Esto es apenas sorprendente. *Toda* nuestra experiencia es temporal, como admiten incluso los que desprecian el tiempo de la manera más resuelta. En verdad, fue precisamente la «realidad fenoménica» obstrusiva del tiempo la que condujo a Platón y a todos los que siguieron sus pasos a inventar el reino hipotéticamente verdadero de la intemporalidad y la inmutabilidad.

Tal vez un análisis más meticuloso de los todos temporales concretos proporcione una pista para la solución de la difícil antinomia de «corpúsculos contra ondas» con que se enfrenta la física contemporánea y que, sin ser eliminada, se ve meramente oculta en el término «complementaridad». En la experiencia concreta del proceso pulsatorio la individualidad y la continuidad no parecen antitéticas y mutuamente exclusivas; se vuelven así únicamente cuando tratamos de visualizarlas. De forma análoga,

---

[16] H. Bergson, *Creative Evolution*, p. 4. El carácter pulsacional de la duración fue aún más fuertemente acentuado por W. James en su interpretación de Bergson en *A Pluralistic Universe*, cap. VI, especialmente pp. 229-232.

los términos «ondas» y «corpúsculos» siguen siendo incompatibles mientras retengan sus connotaciones clásicas, o sea, mientras insistamos en construir modelos pictóricos. Pero ¿parecerán todavía incompatibles si el «modelo» dinámico sin imagen, construido sobre la experiencia temporal concreta, sustituye a las connotaciones visuales clásicas? Hemos enumerado las importantes razones por las que las «partículas» no pueden ser consideradas como trozos aislados de material que conservan su identidad indefinidamente, ni como movimientos de un medio elástico casi material. Aunque podemos hablar todavía de su *individualidad,* es la individualidad de los *sucesos* más bien que la de las *cosas;* la denominada «permanencia de una partícula a través del tiempo» (que parece ser siempre de duración *limitada,* en contra de las afirmaciones del atomismo clásico) no es en realidad nada más que una serie de sucesos. Las líneas universales individuales de las «partículas» están constituidas por la sucesión de pulsaciones cronotópicas. Pero precisamente esta sucesión de sucesos es responsable del carácter «vibratorio» u «ondulatorio» de las partículas: la frecuencia sin imagen «asociada» con toda masa según la relación de De Broglie. Esto es lo que Whitehead expresó en *Science and the Modern World:*

> Así, en la teoría orgánica, no es preciso que un modelo perdure en identidad indiferenciada a través del tiempo. El modelo puede ser esencialmente de contrastes estéticos que requieren un lapso de tiempo para desplegarse. Una melodía es un ejemplo de tal modelo. Así la subsistencia del modelo significa ahora la reiteración de la sucesión de sus contrastes. Esta es evidentemente la noción más general de la subsistencia en la teoría orgánica, y «reiteración» es tal vez la palabra que la expresa de una manera más directa. *Pero cuando traducimos esta noción a las abstracciones de la física, en seguida se convierte en la noción técnica de «vibración».* Esta vibración no es la locomoción vibratoria: es la vibración de la deformación orgánica[17]. (Hemos añadido la cursiva.)

En este pasaje hay algunos términos esotéricos que necesitan aclaración. En primer lugar, preferiríamos el término «contraste cualitativo» o simplemente «diferencia cualitativa de los momentos sucesivos» a «contraste estético». En cuanto se refiere al término «deformación orgánica» es explicado por Whitehead, sólo unas cuantas páginas antes del pasaje citado, como «cambio vi-

[17] A. N. Whitehead, *Science and the Modern World,* p. 193.

bratorio del modelo», en contraste con «locomoción vibratoria». Pero aparte de estas ligeras diferencias terminológicas, existe concordancia entre el pasaje citado y nuestra conclusión de que «los cambios sustituyen a los desplazamientos» y «los sucesos sustituyen a las partículas». En la teoría de la transformación pulsatoria desaparece la antítesis entre «partícula» y «onda».

No deja de ser interesante que a la misma conclusión lleguen también pensadores contemporáneos franceses como Roger Blanché y René Le Senne. Con palabras de este último, *le temps doit être l'onde et grains à la fois* (el tiempo debe ser a la vez onda y partículas) [18]. La contradicción entre las imágenes de «partícula» y «onda» únicamente reaparece si ambos términos se hacen pictóricos, o sea, cuando retornan a nuestra mente sus connotaciones visuales clásicas. Esto es desgraciadamente un caso normal. Seguirá siendo así mientras no sea practicado más sistemáticamente el «psicoanálisis del conocimiento», recomendado por Gaston Bachelard.

La solución anterior de la antinomia «onda frente a corpúsculo» se ve expuesta en un lenguaje demasiado conciso y general para ser enteramente convincente; su elaboración concreta requeriría no sólo otro capítulo, sino otro libro. Tal elaboración no es posible mientras no se dé una nueva interpretación del carácter *extensivo* de la transformación, o sea, de lo que llamábamos «nuevo significado de la espacialidad». Este será nuestro último paso; antes de considerarlo, adicionemos otra oración: la compatibilidad de la emergencia de novedad con la influencia causal del pasado se halla claramente exhibida en la percepción de las frases musicales y, mediante un análisis meticuloso, puede ser detectada en la percepción de *cualquier* todo temporal. Introspectivamente, el tono (provisionalmente) último de una melodía es un presente emergente, mientras que su contexto musical antecedente, que está unido a él por el eslabón dinámico de la memoria inmediata, representa el impacto causal o «mnémico» del pasado. Ni el determinismo absoluto del tipo «todo es dado», ni el indeterminismo absoluto de «creación procedente de la nada» caracteriza adecuadamente la eterna emergencia de novedad en cualquier proceso temporal, ya sea físico o psicológico. Por esta razón, los términos «determinismo relativo» o «determinismo dinámico»

---

[18] Compárese el excelente artículo de R. BLANCHÉ "Psychologie de la durée et de la physique du champ", *Journal de Psychologie*, vol. 44 (1951), pp. 411-424; R. LE SENNE, *Etudes philosophiques* (janvier-mars 1948), p. 4.

casi son más adecuados, siempre que la palabra «determinismo» se halle libre de los tonos laplacianos y predestinacionistas que revolotean reminiscentemente alrededor de ella y que la simple adición de un adjetivo calificativo introduce en el fondo, sin eliminarlos.

Hasta aquí hemos tratado de ilustrar la naturaleza dinámica de la realidad mediante modelos auditivos. ¿Arrojan los mismos modelos alguna luz sobre el nuevo significado de la espacialidad que sustituyó al desacreditado concepto de espacio newtoniano estático? Cierto es que sí; pero si bien era antes suficiente el análisis fenomenológico de la melodía, no lo es en este punto. Nada en una simple sucesión de tonos corresponde a algo incluso remotamente análogo a las relaciones en el espacio. Sin embargo, esta situación es diferente cuando dirigimos nuestra atención a la estructura dinámica de la polifonía. El modelo dinámico en este caso es más complejo. En una composición contrapuntal se producen dos o varios movimientos melódicamente independientes, ya sean armoniosos o disonantes. Los movimientos melódicos componentes, además de desplegarse cada uno sucesivamente, se hallan también en cierto sentido unos *al lado* o *a lo largo* de otros, y esta relación de «al lado» es análoga a la relación de «al lado» en el espacio, como observó a principios de este siglo el psicólogo francés Théodule Ribot [10].

Esta analogía tiene sus limitaciones. La relación espacial de yuxtaposición implica una *exterioridad* mutua completa de los elementos *estáticos*, mientras que en el movimiento polifónico las melodías componentes no sólo proceden juntas hacia el futuro, sino que también se superponen «transversalmente», por decirlo así, sin perder individualidad melódica y autonomía. Pero mientras que la conjunción dinámica de las melodías componentes es diferente de la relación estática de yuxtaposición, es afín, por otra parte, a lo que llamábamos *coexistencia* o más bien *cotransformación* o *cofluidez* de los tubos universales en el tiempo-espacio relativista.

La pluralidad de tubos causales cotransformativos no puede derivarse de la simple relación de sucesión (compárense págs. 224 y siguiente). La física relativista no excluye la *anchura transversal* o *extensión* de la transformación, aun cuando esta anchura no puede ser nunca concebida como sección transversal instantá-

[10] TH. RIBOT, *Logique des sentiments* (Paris, 1905), p. 151.

nea de tres dimensiones. Así el modelo polifónico es un ejemplo concreto de lo que Whitehead denominaba mediante el término, significativamente procedente también del lenguaje de la música, «unísono de la transformación», o Bergson «la simultaneidad de lapsos» [20]. Esta simultaneidad de lapsos, como observó correctamente Bergson, no puede nunca convertirse en la simultaneidad de instantes yuxtapuestos; tales secciones transversales instantáneas en la transformación de cuatro dimensiones son tan imposibles como las secciones transversales instantáneas en una polifonía o cualquier estructura temporal. Lo mismo que los tubos universales causales, las melodías de movimiento paralelo son *contemporáneas,* pero nunca coinstantáneas, porque en cualquiera de ambos casos los instantes son simples artefactos conceptuales, límites ideales. Pueden ser concebidos por nuestra imaginación geometrizante, pero nada corresponde a ellos en el curso concreto de la naturaleza. Los instantes seguirían existiendo si el tiempo dejase de transcurrir; pero esto no sucede nunca, excepto en la imaginación de algunos filósofos.

Así, a la luz de los modelos auditivos, algunas facetas recientemente descubiertas de la realidad física pierden su carácter paradójico. En la conciencia concreta y meticulosamente analizada de la estructura polifónica se hacen intuitivamente claros los siguientes rasgos, que siguen siendo ininteligibles e incluso absurdos dentro del esquema visual de la física clásica:

El carácter incompleto de la transformación y su carácter pulsatorio.

La compatibilidad de la emergencia de novedad con la influencia causal del pasado.

La individualidad de los sucesos dentro de la continuidad del lapso.

El carácter ficticio de las secciones instantáneas y, por consiguiente, la imposibilidad de espacio instantáneo.

La sustitución de la relación de yuxtaposición o coinstantaneidad de puntos por la de cotransformación o contemporaneidad de los tubos causales.

Todas estas facetas desafían a cualquier intento consistente de visualización. La primera función de los modelos auditivos es *negativa;* liberan a nuestra mente del dominio exclusivo y tiránico de las imágenes espaciales. Pero, además de esta función

---

[20] A. N. WHITEHEAD, *Process and Reality,* pp. 189-192; H. BERGSON, *Durée et simultanéité,* p. 68.

negativa, hay también otra positiva que no se nos debe escapar.

La transformación presente de la física es mucho más radical que la famosa «revolución copernicana» del siglo XVI. Para no decir nada de la inexactitud del adjetivo «copernicano» (da a Copérnico el crédito que realmente pertenece a Giordano Bruno, el primero que se apartó sincera y consistentemente de la cosmología aristotélica)[21], la transición del mundo cerrado al universo infinito no fue excesivamente difícil para la imaginación humana: la tierra simplemente cambió su posición con la del sol, mientras que fueron eliminadas las esferas celestes. Fue relativamente pequeño el esfuerzo de la imaginación necesario para dar tales pasos. Esto explica por qué fueron anticipados por los griegos: el sistema heliocéntrico por Aristarco de Samos, la infinidad del espacio por Arquitas y los atomistas. La resistencia contra la idea universal de Copérnico y Bruno nacía principalmente de la inercia mental y reluctancia emocional a abandonar el esquema cosmológico que era considerado como núcleo de la doctrina religiosa medieval. Pero la nueva idea newtoniana del universo era tan pictórica como la antigua idea aristotélica; en realidad, lo era aún más. Después de la eliminación de las cualidades secundarias no visuales, que habían sido creadas por Aristóteles y la ciencia medieval, se pronunció aún más su carácter visual. En la imagen newtoniana del mundo sólo los elementos táctiles tenían un lugar comparable al de los ópticos.

Hoy estamos en medio de una transformación mucho más radical de nuestra idea de la naturaleza. El aspecto más revolucionario de esta transformación radica en el hecho de que las palabras «imagen» e «idea» pierden enteramente su significado etimológico. Como las denominadas cualidades primarias de la materia se unen ahora a las cualidades secundarias en su salida del mundo físico objetivo, está claro que el futuro concepto de la materia debe estar desprovisto de *todas* las cualidades sensoriales, incluyendo incluso las que se hallan sutil e implícitamente presentes en las nociones matemáticas aparentemente abstractas. Esto

---

[21] Compáresc el capítulo "The Conservation of Copernicus", en *The Origins of Modern Science 1300-1800*, de HERBERT BUTTERFIELD (Macmillan, Nueva York, 1959); THOMAS S. KUHN, *The Copernican Revolution* (Random House, Nueva York, 1957), pp. 144-148. Acerca del significado de BRUNO, compárese H. HÖFFDING, *A History of Modern Philosophy*, I, pp. 123-130, y A. KOYRÉ, *From the Closed World to the Infinite Universe*, pp. 39-54. G. DE SANTILLANA, *The Age of Adventure* (Mentor, 1957), pp. 244 y sig.

parece estar en contradicción con lo que se ha dicho acerca de los modelos auditivos. Pero no pretendemos restaurar las cualidades auditivas en la realidad física de alguna forma neorrealista. El significado positivo de los modelos auditivos está en el descubrimiento de *modelos dinámicos sin imagen* [22], estructuralmente análogos a los que, según la creciente evidencia empírica, constituyen la naturaleza de la realidad física.

Una interpretación concreta de la física contemporánea no es, por tanto, imposible mientras tengamos en cuenta que los términos «concreto» y «pictórico» (o «sensorial») *no* son sinónimos. Por la misma razón, el término «modelo sin imagen» de la materia *no* es autocontradictorio. Tarde o temprano la búsqueda de tales modelos se hará imperativa para los realistas meticulosos que, sin querer considerar ningún retorno disfrazado a la engañosa claridad cartesiana de los modelos clásicos, no se sienten satisfechos ni por el fenomenismo ni por el panmatematismo, que están hoy de moda. En esta búsqueda el isomorfismo observado de la duración psicológica y la transformación física constituirá una de las pistas más significativas.

---

[22] Por una curiosa coincidencia, el estudio del pensamiento sin imagen empezó aproximadamente al mismo tiempo que la física moderna tomaba existencia. El artículo de Alfred Binet "La pensée sans images" apareció en *Revue philosophique* en 1903, o sea, tres años después de la teoría *cuántica* de Planck. Sobre el significado del pensamiento sin imagen, véase en particular A. Burloud, *La pensée conceptuelle* (París, 1927), y Brand Blanshard, *The Nature of Thought* (George Allen & Unwin, Londres, 1939), especialmente capítulo VII.

CAPITULO DECIMONOVENO

Resumen

La parte primera demostró de qué manera la física clásica consideraba el espacio como recipiente homogéneo tridimensional, independiente de su contenido físico, físicamente inerte, infinito en extensión, infinitamente divisible. Su estructura rígida se describía por los axiomas y teoremas de la geometría euclidiana. Estas propiedades no eran lógicamente independientes; a excepción de su carácter tridimensional, todas eran derivables de dos facetas básicas que, sin ser idénticas, se hallaban, no obstante, íntimamente relacionadas: su homogeneidad y su carácter euclidiano.

Ni una sola faceta de las enumeradas queda sin ser provocada, ya directa o implícitamente, por la física contemporánea. A la luz de la teoría general de la relatividad deben ser abandonadas las siguientes propiedades clásicas del espacio: su homogeneidad, su carácter euclidiano, su rigidez, su inacción causal e independencia del contenido físico, posiblemente incluso su infinidad (aunque no su carencia de límites). Esto se deduce de la fusión relativista del espacio con su contenido diversificado y cambiante.

La única propiedad del espacio clásico que aparentemente no ha sido afectada por la teoría de la relatividad es su continuidad. Sin embargo, bajo el impacto de la teoría cuántica y la mecánica ondulatoria han aparecido serias dudas acerca de la aplicabilidad de la continuidad espacial a nivel microfísico. Los intentos de introducir una longitud mínima, el denominado hodón, son simplemente síntomas de la creciente conciencia de que el concepto de espacio infinitamente divisible es apenas un instrumento adecuado para tratar de la aparentemente irreducible individualidad de los sucesos microfísicos.

Y lo que es aún más grave, la relación de yuxtaposición, que era considerada como la propia esencia de la espacialidad, no pa-

rece tener ninguna réplica física objetiva. Según la teoría especial de la relatividad, no hay yuxtaposiciones absolutas en la naturaleza; afirmar lo contrario sería afirmar la existencia de la simultaneidad absoluta que niega la física relativista. Pues debemos reparar en que los elementos *yuxtapuestos*, ya se llamen «puntos» o «sucesos», son por su propia naturaleza simultáneos, o sea, carecen de sucesión. Así la eliminación de la simultaneidad absoluta entraña la eliminación de la yuxtaposición absoluta, o sea, del espacio newtoniano absoluto.

El significado pleno de esta declaración se ve algo obscurecido por el hecho de que la palabra «relativización», que es menos radical, sustituye a «negación». Creemos que hacemos justicia a la lógica de la relatividad añadiendo simplemente el adjetivo «relativo» a los nombres «espacio» y «simultaneidad» sin darnos cuenta de que cuando se retienen viejas palabras también se retienen inconscientemente a menudo sus viejas connotaciones. No cabe duda de que tales residuos inconscientes o semiconscientes de la estructura conceptual newtoniana afectan seriamente a la interpretación de las nuevas teorías físicas.

Llegamos a la misma conclusión considerando la naturaleza de la fusión relativista del espacio con el tiempo. En el cuadro clásico de la naturaleza la historia universal se representaba mediante la sucesión continua de espacios instantáneos, todos ellos perpendiculares al eje del tiempo y representando cada uno «el mundo en un instante dado». En cada momento particular se presuponía que era imposible separar una sección transversal tridimensional instantánea del proceso universal de cuatro dimensiones. En el espacio-tiempo relativista (cuyo nombre más adecuado sería tiempo-espacio) tales espacios instantáneos que contienen sucesos absolutamente simultáneos son simples secciones artificiales y convencionales a las que no corresponde nada objetivo en la naturaleza. Si continuamos operando con tales secciones en el tiempo-espacio relativista serán diferentes en diferentes ángulos de referencia. Aunque estas diferencias son despreciables en nuestra experiencia ordinaria, no pueden ser desconsideradas a escala cósmica o cuando consideramos velocidades que se aproximan a la velocidad de la luz.

Por consiguiente, aunque el concepto de «ahora» local retiene su justificación práctica a escala humana e incluso planetaria, el concepto de un enorme «ahora» tridimensional pierde enteramente su significado físico. No hay instantes universales, como

acentuó Eddington; o, con palabras de Whitehead, no existe eso de «naturaleza en un instante». La eliminación de este concepto representa una de las amenazas más graves para el esquema universal laplaciano clásico.

Si el espacio estático instantáneo es una simple sección transversal en la transformación de cuatro dimensiones, está claro que la teoría de la relatividad incorpora el espacio en el tiempo en vez de viceversa. La fusión de los dos conceptos se ve más adecuadamente caracterizada como *dinamización de espacio* que como *espacialización de tiempo.*

Es verdad que la opuesta interpretación estática puede ser hallada no sólo en algunas exposiciones populares y semipopulares, sino ocasionalmente, también en libros más técnicos, escritos por destacados físicos y filósofos. En esta interpretación el espacio-tiempo relativista es considerado como una especie de hiperespacio de cuatro dimensiones, del cual es el tiempo simplemente una dimensión, no básicamente diferente de otras dimensiones. El hecho de que el propio Minkowski utilizase la expresión «mundo de cuatro dimensiones» *(vierdimensionale Welt)* en vez de «transformación de cuatro dimensiones» contribuyó ciertamente a esta interpretación errónea. Pero la tendencia a representar el tiempo como dimensión geométrica adicional del espacio fue parte de la tradición científica clásica, de la que la denominada espacialización del tiempo en la teoría de la relatividad es únicamente el último ejemplo.

Además, tal espacialización del tiempo es solamente una forma particular de otra ilusión perenne, cuyo rastro se puede seguir hasta los propios albores del pensamiento occidental: la creencia en que la transformación puede ser reducida al ser, el proceso a la substancia, el tiempo a lo intemporal, *los sucesos a las cosas.* Larga sería la lista de los que, desde Parménides hasta Bradley y McTaggart, trataron mediante diferentes y sutiles ingenios de eliminar el cambio y establecer el carácter estático de la «verdadera realidad». Es apenas accidental que los que se pronuncian en favor de la interpretación estática del espacio-tiempo, como James Jeans y Kurt Gödel, se hallen conscientes de su afinidad con esta tradición filosófica. Aun si no hablamos de las extremadas dificultades epistemológicas hacia las cuales conduce la idea estática de la realidad, hay razones más específicas contra su aplicación a los hechos de la física relativista. Son las siguientes:

1. Hay un límite máximo para la velocidad de todas las acciones causales; ninguna de ellas puede superar nunca el valor crítico de la velocidad de la luz, *c*. Como no hay acciones instantáneas, los efectos no son nunca simultáneos a sus causas; en otras palabras, los eslabones causales (líneas universales) siguen siendo irremediablemente sucesivos, confiriendo así el carácter dinámico al mundo que constituyen.
2. En cada momento particular el espacio euclidiano clásico es una simple sección transversal convencional y artificial en la historia universal de cuatro dimensiones: convencional, porque es diferente en diferentes ángulos de referencia; artificial, porque nada objetivo corresponde a él en la naturaleza. Así, en contra del difundido prejuicio, la relativización de la simultaneidad debilita el *status* ontológico del espacio, pero no el del tiempo.
3. El orden de los sucesos que constituyen las cadenas causales (líneas universales) es idéntico en todos los ángulos de referencia. La irreversibilidad de las líneas universales es una *invariante topológica. Hay sucesiones absolutas en el mundo, aunque no hay yuxtaposiciones absolutas.* Porque el «mundo» (¡ qué palabra más desorientadora !) no es nada más que la textura de las líneas causales, el carácter irreversible de éstas es conferido a la historia universal en general.
4. El único tipo de sucesión que se relativiza es la sucesión espuria de los sucesos causalmente no relacionados. El verdadero significado de este tipo de relativización puede ser expuesto como sigue: *el orden de los efectos* de los sucesos causalmente no relacionados puede verse invertido mediante una adecuada elección del ángulo de referencia, produciendo así la *ilusión* de que *se invierte el orden de los propios sucesos.*
5. La dinamización del espacio es aún más conspicua en la teoría general de la relatividad, en la que el tiempo-espacio se fusiona con su contenido físico cambiante. Pero esta eliminación de la distinción entre recipiente estático y pasivo y contenido físico cambiante había sido preindicada en la teoría especial, en la que la estructura espaciotemporal y la estructura causal son dos palabras que designan una sola e idéntica cosa.

El concepto de tiempo no queda sin ser afectado por su unión con el concepto de espacio. Pero su transformación es mucho menos radical que la del espacio. La simultaneidad y sucesión de los sucesos isotópicos quedan sin ser afectadas por la elección de un sistema de referencia; el significado de la relativización de la simultaneidad de sucesos distantes ha sido ya explicado. Es importante acentuar que la *relatividad* métrica de los intervalos temporales, tal cual se manifiesta en la denominada «dilatación del tiempo», es puramente referencial en la teoría especial, siendo únicamente una distorsión *aparente*, debida a la perspectiva cinemática («perspectiva de velocidad»).

En la teoría general el concepto de tiempo se ve más seriamente afectado. Por virtud de la fusión del tiempo-espacio con su contenido cambiante y diverso el tiempo pierde sus tres facetas clásicas: su independencia con respecto de los sucesos concretos, su inacción causal y su homogeneidad. El tiempo de la teoría general, en vez de ser homogéneo y «fluir uniformemente sin consideración a nada externo», se hace heterogéneo y, por decirlo así, «polifónico» o «polirrítmico»; esto explica por qué la dilatación del tiempo en los campos gravitatorios es *real* y no meramente referencial.

Sin embargo, como señalamos en el capítulo XII, esta dilatación no es nunca *retardación;* nunca entraña *dislocación* de las series temporales. El análisis detallado del experimento de pensamiento de Langevin demuestra que, en cierto sentido no newtoniano ni métrico, *el tiempo sigue siendo universal* porque la misma extensión subyace en diferentes series temporales discordantes a pesar de que se mide de manera diferente en cada serie. Aunque el universo relativista excluye el concepto de simultaneidad, conserva la relación de *independencia contemporánea;* diferentes series métricamente discordantes son contemporáneas aun cuando sus sucesos no son nunca *coinstantáneos*. Esta relación de contemporaneidad ofrece la pista para el nuevo significado de la espacialidad. (Sustituyo adrede el término «espacio» por el de «espacialidad», pues aquél está demasiado incómodamente matizado por asociaciones newtonianas.)

De todas las propiedades clásicas del tiempo —homogeneidad, fluidez uniforme, independencia del contenido físico, ineficacia causal, infinidad y divisibilidad infinita—, todas menos las dos últimas se ven provocadas por la teoría de la relatividad. Pero incluso las dos últimas facetas se ven amenazadas por el desarrollo

de la física posrelativista. La ausencia del principio del tiempo fue uno de los dogmas más predilectos del pensamiento clásico; poco importaba si la infinidad del pasado se interpretaba teológicamente como infinidad de la duración divina (Newton) o, desde el punto de vista naturalista, como duración cósmica sin principio (Bruno y otros). Sin embargo, incluso este dogma se ve ahora provocado por algunas teorías cosmogónicas, en particular por la teoría del universo expansivo. En realidad, a menos que enmendemos esta teoría mediante algunas hipótesis adicionales, la negación del pasado sin principio se deduce de ella. (Es posible evitar esta consecuencia suponiendo períodos sucesivos de expansión y contracción, pero esto sería precisamente un supuesto correctivo.)

La continuidad (divisibilidad infinita) del tiempo se enfrenta a una situación análoga a la que afronta el concepto de espacio. Todo el concepto de continuidad espaciotemporal, que era tan maravillosamente fructífero a nivel macroscópico e incluso molecular, pierde aparentemente su aplicabilidad a nivel electrónico y cuántico. Esto explica la aparición simultánea de las hipótesis de «hodón» y «cronón». Las deficiencias de estas hipótesis —en particular su carácter *ad hoc*, su separación prerrelativista del espacio respecto del tiempo, sus suposiciones subrepticias de los propios conceptos de puntos e instantes que pretenden eliminar— no deben cegarnos, sin embargo, a la creciente evidencia acerca de que el concepto de divisibilidad infinita del espacio y el tiempo es, utilizando palabras de Erwin Schrödinger, «una enorme extrapolación» de lo que es macroscópicamente accesible a nosotros.

En vista de la íntima unión entre el tiempo-espacio y su contenido físico los conceptos tradicionales de *materia* y *movimiento* quedaron transformados, y no es ninguna exageración decir que quedaron transformados de una manera irreconocible.

Las limitaciones del concepto de materia aparecieron en repetidos fracasos de los modelos mecánicos del éter. Se hizo cada vez más patente que nuestra noción tradicional de la materia como *algo impenetrable* que llena el espacio, a pesar de su utilidad a nivel macroscópico e incluso molecular, no puede ser provechosamente aplicada a lo que se solía llamar «materia ponderable» del medio hipotético interplanetario e intermolecular. Pero el *coup de grâce* procedió de la teoría de la relatividad. La teoría especial demostró que incluso las propiedades cinemáticas más simples

son inaplicables al éter hipotético. Al mismo tiempo, la fusión de masa y energía obscurecía la distinción entre cuerpos materiales y su espacio circundante, pues la masa total de cualquier agregado material no es una simple suma aritmética de sus componentes corpusculares, sino que depende también de la masa contenida en la ligadura energética que los une.

En la teoría general de la relatividad es mucho más pronunciada la negación de la distinción «lleno y vacío». En esta distinción se basaba el concepto tradicional de cualquier corpúsculo material, ya etéreo, atómico o molecular; sin esta distinción pierde su carácter definido el concepto de cuerpo material, cualesquiera que sean sus dimensiones. Es disparatado hablar acerca de «partícula» cuando no existen límites definidos que la separen de su vacío circundante; no tenemos derecho a utilizar ni siquiera la expresión «materia *en* el espacio» cuando la materia se disuelve en una irregularidad local *del espacio* o, más correctamente, *del* tiempo-espacio. Aunque es exagerada la afirmación de Bergson y Whitehead acerca de la «omnipresencia» de las partículas —no tiene en cuenta la velocidad *finita* mediante la cual se propaga la irregularidad local—, acentúa, no obstante, correctamente la ausencia de límites bien definidos entre los «corpúsculos» y su ambiente.

La verificación extensiva y espectacular de la fusión relativista de masa y energía demostró la profunda diferencia que separa las «partículas» de la física moderna respecto de las partículas tradicionales del atomismo. El incremento relativista de masa con la velocidad demostró que las «partículas» microfísicas no son constantes; los hechos de aniquilación y creación de parejas electrónicas demostraron que no son ni siquiera permanentes, o sea, perdurables a través del tiempo y el espacio. Algunas partículas tienen una duración tan efímera que es positivamente desorientador aplicarles el término «corpúsculos», tan indisolublemente asociado con la idea de dureza y permanencia; merecen mucho más que las llamemos «sucesos» o, a lo sumo, «partículas-sucesos», como propuso Whitehead.

No sólo no puede ser observada dos veces una partícula microfísica, como acentuó Schrödinger, *sino ni siquiera una vez,* como demuestra la consistente aplicación del principio de indeterminación de Heisenberg. Ni siquiera una vez podemos observar una «partícula» microfísica. Hacerlo implicaría la posibilidad de hallar en la naturaleza una conjunción de momento definido

y posición definida. Pero tal posibilidad no existe: no a causa de alguna limitación temporal de nuestra técnica de experimentación y observación, sino simplemente porque la conjunción de posición y momento *no existe en la naturaleza,* como han acentuado Eddington y, más recientemente, Philip Frank. ¿Qué queda entonces del concepto clásico de partícula cuando incluso sus propiedades constitutivas —el momento y la posición— no pueden existir juntas?

Mediante tales transformaciones radicales del concepto de materia el concepto clásico de movimiento se ve también seriamente afectado. El movimiento en el sentido clásico de desplazamiento era posible únicamente porque un trozo de materia, persistiendo a través del tiempo, podía separarse de la posición previamente ocupada para dirigirse a otras posiciones. Pero si una «partícula» es simplemente una región más compleja del tiempo-espacio, ¿cómo puede separarse de algo que, por decirlo así, constituye su naturaleza? Lo que sucede realmente cuando vemos un cuerpo material moviéndose de un lugar a otro no es un traslado de alguna entidad substancial de un lugar a otro, sino la *desaparición* de la curvatura local en un lugar y su aparición en una región adyacente. La situación es comparable a una pequeña concavidad viajando sobre la superficie de una pelota insuficientemente inflada; también su «desplazamiento» es producto de dos cambios concomitantes de la curvatura local, o sea, la desaparición de una concavidad en un lugar y su aparición en la región vecina. Es la continuidad del movimiento de la bola de nuestro ojo la que crea aquí la ilusión de la identidad de una «cosa que viaja en el espacio».

Así lo que llamamos desplazamiento de un cuerpo en el espacio es, en realidad, como observó proféticamente Clifford en 1876, un *cambio* intrínseco del espacio (hoy debemos decir del tiempo-espacio), un cambio de su curvatura. La relación del espacio y el tiempo con la materia y el movimiento deja de ser la relación de recipientes pasivos e inmutables con contenido cambiante. Lo que solíamos llamar movimiento *en* el espacio y *en* el tiempo se convierte ahora en *cambio* del tiempo-espacio, un cambio al que no es indiferente el tiempo-espacio y en el cual participa éste. Así la *categoría de cambio* sustituye a la de desplazamiento.

Si el concepto de desplazamiento y la identidad de la «cosa que viaja en el espacio» son inadecuados incluso a nivel macros-

cópico, ¡qué desorientador es aplicarlos a escala microfísica! En fecha tan temprana como la de 1926 P. W. Bridgman puso en duda la aplicabilidad de ambos conceptos en el microcosmos, y hoy sabemos cuán justificado era su escepticismo. Es la continuidad del movimiento la que garantiza la identidad de un cuerpo que se mueve, y viceversa; pues únicamente si una trayectoria continua une las posiciones sucesivas de una «cosa que viaja» podemos seguir su identidad a través del espacio y el tiempo; a la inversa, la identidad de un cuerpo *que persiste a través de todos los instantes del tiempo y en todos los puntos de su trayectoria* proporciona la posibilidad de reflejar en un gráfico su movimiento continuo. Estos dos conceptos correlacionados no pueden ser consistentemente aplicados a los fenómenos de *quantum*, en los que se manifiesta el carácter pulsacional del tiempo-espacio.

Esto nos conduce al *segundo* aspecto del cambio revolucionario al que se hallan sujetos los conceptos de materia y movimiento. No sólo son absorbidos la materia y el movimiento en el tiempo-espacio, que a su vez ha perdido su pasividad causal y homogeneidad, sino que ya no son mutuamente exclusivos. En el pensamiento clásico la materia y el movimiento eran mutuamente inconvertibles: la variación de la cantidad de movimiento nunca afectaba a la masa de un cuerpo en movimiento, mientras que ningún incremento de momento de una partícula podía surgir jamás de la propia partícula, sino únicamente de las causas mecánicas externas. Hemos visto que en la mecánica relativista la situación es diferente; la masa varía con la velocidad, la energía cinética se incrementa con la masa total de las «partículas». Y lo que es más significativo, toda la «masa de reposo» puede convertirse en la energía cinética de los fotones (cuya «masa de reposo» es cero). Así queda abolida otra distinción clásica: la distinción entre el movimiento y su vehículo material.

El descubrimiento de la «energía cero» por Nernst, que parecía tan paradójico dentro de la estructura de la ciencia clásica, se hace más inteligible cuando nos percatamos de que la separación conceptual de *movimiento* y *cosa movida*, que es tan fuertemente sugerida por nuestra experiencia macroscópica, pierde su justificación a nivel microfísico. Es muy probable que lo que era originalmente la distinción entre movimiento y materia a nivel sensorial se convirtiese más tarde en la distinción entre *cosa* y *suceso*, o *substancia* y *proceso*, a nivel más abstracto. La desaparición de esta distinción es aún más conspicua en la mecánica

ondulatoria; el descubrimiento de las ondas de De Broglie demuestra que no sólo están las partículas materiales constituidas por vibraciones, sino que también hay una probabilidad muy limitada de interpretar estas oscilaciones como desplazamientos vibratorios de entidades corpusculares o subetéreas. «Los sucesos y no las partículas constituyen la verdadera realidad objetiva», es la conclusión de sir James Jeans, y están de acuerdo con ella pensadores tan diferentes como Bertrand Russell, Henri Bergson, A. N. Whitehead y Gaston Bachelard.

Hay una correlación entre la transformación del concepto de partícula y el de movimiento; sin embargo, se retienen ambas palabras, e incluso si se ponen a veces entre comillas, su uso continuado tiende a ocultar su insuficiencia básica. Lo mismo que la simultaneidad y el espacio instantáneo, las partículas y los movimientos simplemente *no existen*, y debemos emplear términos más adecuados para describir la individualidad de los sucesos microfísicos. La naturaleza de la materia, a manera de suceso, es muy probablemente otra manifestación de la estructura pulsacional del tiempo-espacio.

Después de esta transformación tan radical de los conceptos clásicos básicos de espacio, tiempo, materia y movimiento, muy poco queda del esquema cinético-corpuscular tradicional de la naturaleza. Es natural que el determinismo clásico del tipo laplaciano se vea amenazado cuando se desintegra el esquema en que se basa. La íntima conexión entre el determinismo estricto y el modelo cinético-corpuscular de la naturaleza se puede ver por la propia forma en que fue expuesta la creencia determinista: «dado un estado del universo en un instante dado», o «dada una configuración instantánea de todas las partículas que componen el mundo y sus momentos», entonces todos los estados de la historia cósmica, ya sean pasados o futuros, se determinan de una manera completa y clara.

Ni un solo concepto constituyente de este modelo laplaciano del universo queda sin ser afectado; lo que fue dejado intacto por la teoría de la relatividad quedó provocado por la teoría de los *quanta* y la mecánica ondulatoria. Hablando desde un punto de vista relativista, no existe eso de «estado del mundo en un instante»; no existe eso de configuración instantánea de partículas. Además, el concepto de partícula inmutable y permanente, identificable a través del espacio y el tiempo, es tan anticuado como el concepto de instante sin duración. Esto es especialmente obvio

en el principio de indeterminación según el cual ni la correlación de momento definido y posición definida ni la de energía definida y tiempo definido puede ser hallada en la naturaleza. Ciertamente no es accidental que este principio, que es una simple consecuencia de la atomicidad de la acción, se oponga igualmente al determinismo clásico y al modelo cinético-corpuscular de la naturaleza.

Es verdad que hay dos interpretaciones antagónicas de este principio. Según la primera, que está más de acuerdo con los hábitos clásicos de pensamiento, la indeterminación en cuestión se debe al efecto perturbador de la observación; según la segunda, se debe a la contingencia que existe objetivamente en la naturaleza.

La primera interpretación deja básicamente intacto al determinismo clásico. Afirma que en la indeterminación estadística de los procesos microfísicos subyacen, a nivel subcuántico y subelectrónico, micromecanismos que determinan cada momento en particular. Los méritos y deméritos de esta interpretación determinista se pueden ver con especial claridad cuando se aplica a la clase de los fenómenos radiactivos. El «efecto perturbador de un observador» apenas puede explicar la contingencia de las explosiones radiactivas que se producen espontánea e independientemente de influencias externas. Por tanto, la hipótesis determinista debe recurrir a «mecanismos ocultos» dentro del núcleo mediante los cuales son expulsados los componentes nucleares.

Esta manera de considerar el asunto tiene la ventaja de la claridad de los modelos cartesiano-kelvinianos y su plausibilidad se ve incrementada por el hecho de que la radiactividad sólo se produce espontáneamente en núcleos muy complejos de átomos pesados; nada parece más plausible que considerar la contingencia de las desintegraciones radiactivas como simplemente espuria y explicarla mediante fluctuaciones *aparentemente* irregulares de la energía cinética de sus partes constituyentes. Por otra parte, este propio rasgo de claridad es el mayor estorbo de la interpretación determinista; nada es más sospechoso en la microfísica que la engañosa claridad de los modelos corpusculares mecánicos. Lo que se supone aquí es la preexistencia en el núcleo de las partículas expulsadas; esto es imposible en el caso de electrones beta, para no mencionar la insuficiencia establecida del concepto de partícula en general. Cuando analizamos el uso del lenguaje

corpuscular aplicado a las emisiones radiactivas su insuficiencia se hace aún más evidente.

Los defensores más sofisticados de la interpretación determinista del principio de indeterminación de Heisenberg probablemente negarán su adhesión a los modelos corpusculares. Pueden apuntar correctamente el hecho de que sus «teorías de parámetros ocultos» son íntimamente afines a las teorías del campo unitario en que las partículas se disuelven en la continuidad del campo. Este campo, identificándose con alguna curvatura o torsión no euclidiana, se encuentra todo lo lejos que le es posible de los modelos visuales clásicos de la realidad física. Sin embargo, esto no elimina la dificultad básica, porque se retiene el concepto tradicional de continuidad espaciotemporal. Las teorías del campo unitario, así como las teorías de parámetros ocultos, se enfrentan así con la difícil tarea de explicar la estructura semejante a partículas de la materia y la energía. Desde su punto de vista la existencia de la constante *h* de Planck, en vez de ser concebida como último hecho irreducible, debe ser explicada como subproducto de la estructura continua subcuántica del campo. Esto parece ser en la actualidad el principal obstáculo tanto de las teorías del campo unitario como de las teorías de parámetros ocultos. Si tenemos en cuenta que el concepto de continuidad espaciotemporal es una atrevida extrapolación exorbitante de nuestra limitada experiencia macroscópica, no parece probable que sea eliminado alguna vez este obstáculo. Por tanto, podemos sacar la conclusión de que la suma de testimonios indirectos en favor del carácter objetivo de la indeterminación microfísica se hace abrumadoramente fuerte.

La resistencia a la idea de indeterminación física es principalmente de origen filosófico; erróneamente se cree que el contingentismo en la física significa la «ruina de la ciencia» y el «suicidio de la razón». Lo que hace que resulte especialmente difícil la aceptación de la indeterminación objetiva es el hecho de que el determinismo clásico está ligado no sólo a la idea cinético-corpuscular de la naturaleza, sino también a la idea cuantitativa de la naturaleza. Dentro de tales ideas la indeterminación física debe parecer necesariamente irracional, porque debe tomar la forma de fluctuación sin causa de ciertas cantidades, ya sea materia, energía o impulso. Por esta razón, una fluctuación sin causa de la cantidad de energía, por pequeña que sea, debe pa-

recer tan absurda como el *clinamen* de Lucrecio o cualquier tipo de *creatio ex nihilo.*

Pero debemos reparar en el hecho de que el principio de indeterminación es tan incompatible con tal indeterminismo absoluto como con la causalidad estricta del tipo newtoniano-laplaciano. Pues a la luz de este principio el concepto de cantidad claramente definida pierde su significado; hablar de fluctuación sin causa es tan disparatado como hablar de constancia. Por esta razón, cualquier intento de expresar la contingencia física en términos del modelo cinético y cuantitativo de la naturaleza no puede producir nada más que cosas raras y discrepancias.

La hipotética irracionalidad del indeterminismo en la física desaparece cuando nos damos cuenta de que el modelo laplaciano de la realidad física no es el único modelo racional del universo y que la insuficiencia establecida del determinismo clásico no implica nada más que una restauración de la transformación en el mundo físico. En el esquema determinista clásico la novedad y la transformación quedaron virtualmente eliminadas. El futuro era considerado como implícitamente contenido en el presente; así el tiempo quedó reducido, con palabras de Bergson, a «una simple deficiencia humana para conocerlo todo de una vez». Por otra parte, el carácter objetivo de la indeterminación física adquiere un significado inteligible en la idea dinámica de la realidad física, pues únicamente en el universo dinámico puede retener el futuro su carácter de *futuridad* en vez de ser un presente disfrazado y completo; sólo en el universo dinámico deja de ser irracional la novedad. Es nada menos que una faceta esencial de la transformación; sólo en un universo completo el término «posibilidad», en vez de ser síntoma de ignorancia humana, designa la ambigüedad objetiva del futuro.

Es importante observar que la emergencia contingente de novedades es tan incompatible con el universo estático de Spinoza y Laplace como con el universo milagroso de sucesos completamente no relacionados en el que puede suceder todo. Por el contrario, la influencia constructiva —aunque no predeterminante— del pasado es una faceta esencial de la transformación, tanto como lo es la novedad irreducible de cada suceso presente. La aplicabilidad de las leyes de probabilidad a los sucesos microfísicos indica claramente que el concepto de causalidad debe ser ensanchado en vez de abandonado; lo que debe ser eliminado es únicamente su forma necesitarista estática anticuada.

De la afirmación de novedades reales en la naturaleza se deduce la imposibilidad del «tiempo cíclico» o del «eterno retorno». El retorno del mismo estado implicaría la identidad de dos momentos sucesivos separados por un intervalo de tiempo; pero tal identidad evidentemente eliminaría el elemento de novedad mediante el cual el momento posterior se diferencia del anterior. Así la transformación es irreversible por su propia naturaleza.

Además de este fundamento lógico hay algunas otras razones, proporcionadas por la física, para rechazar el tiempo cíclico. La doctrina del eterno retorno en su versión clásica presuponía el modelo cinético-corpuscular de la realidad que está hoy anticuado. Pero aun si esta doctrina se halla libre de su conexión con el cinetismo clásico, todavía tiene que asumir el concepto de «naturaleza en un instante», que a la luz de la teoría de la relatividad no es menos anticuado. Aún más graves son las dificultades lógicas intrínsecas de la teoría. El concepto de repetición absoluta de un estado previo del universo sólo puede tener sentido dentro de la estructura del tiempo *irreversible* absoluto, pues sólo en tal tiempo pueden ser diferenciados por sus «posiciones temporales» dos estados hipotéticamente idénticos del universo. Pero esto implicaría la propia hipótesis que deseaba evitar la teoría del tiempo cíclico: la de tiempo no cíclico separable de los sucesos concretos. La teoría cíclica del tiempo es así esencialmente autodestructiva.

Pero la irreversibilidad del tiempo fue también afirmada de una forma menos radical como *reversibilidad de la dirección del tiempo* sin suponer un retorno completo del mismo estado de la historia universal. Las teorías actuales de la «flecha del tiempo» se basan en la misma teoría relacional del tiempo que la teoría del tiempo cíclico: el tiempo, con palabras de Lucrecio, «no siendo nada por sí solo», debe ser definido en términos de alguna trayectoria observable. y si esta trayectoria es local y reversible, también el propio tiempo debe ser local y reversible. La definición de la dirección del tiempo en términos de incremento de entropía condujo naturalmente a esta conclusión, pues la interpretación estadística y cinético-corpuscular de la segunda ley de la termodinámica implicaba la reversibilidad de la dirección del tiempo a escala molecular (las fluctuaciones observables en el movimiento browniano) y, a la larga, incluso a escala macroscópica.

La limitación más grave de la teoría es el hecho de que se basa en el uso discutible del término «dirección», que únicamente puede ser aplicado al tiempo en un sentido suelto y metafórico. Si olvidamos que la palabra «dirección» procede de la geometría y la cinemática y que, por tanto, no puede ser aplicada literalmente al tiempo, podemos extraer impensadamente todas las consecuencias de la engañosa analogía entre «movimiento del tiempo» y movimiento en el espacio; así podemos pensar que lo mismo que puede cambiar la dirección del movimiento en el espacio, también puede cambiar la «dirección del tiempo»; o, lo mismo que pueden ser circulares los movimientos en el espacio, también puede ser circular el curso del tiempo. Las teorías de tiempo reversible y del eterno retorno se basan en estas falsas analogías cinemáticas.

Si liberamos nuestra imaginación de la obsesión de la espacialización vemos que la reversibilidad de la transformación no puede ser expresada ni siquiera en un lenguaje autoconsistente. Solamente la engañosa analogía del tiempo con el movimiento espacial nos oculta el absurdo intrínseco de «futurización del pasado», que implica la postulada reversibilidad de la dirección del tiempo. Por tal razón, incluso en el universo fantástico en que un reloj de entropía correría hacia atrás, el tiempo todavía seguiría transcurriendo. Todavía existiría la asimetría entre el pasado y el futuro, o sea, entre lo que ha sucedido irrevocablemente y lo que es un estado potencial, que «todavía no» se ha producido.

Si rechazamos cualquier intento de definir la «dirección del tiempo» en términos de trayectoria irreversible, no quiere decir que rechazamos cualquier teoría relacional del tiempo. El tiempo *es* inseparable de los sucesos concretos; pero estos sucesos, como sabemos hoy, no pueden reducirse al desplazamiento de partículas inmutables cuyas configuraciones —al menos en principio— pueden retornar.

En vista de lo anticuado que está el modelo cinético-corpuscular del universo, existe una incrementada tendencia en la física contemporánea, y especialmente en la cosmología contemporánea, a abandonar los vanos intentos de derivar la irreversibilidad macroscópica de los denominados microprocesos reversibles básicos. Desde Pierre Duhem hasta Eddington esta trayectoria se ha venido pronunciando cada vez más hasta encontrar su más sorprendente expresión en la teoría de universo expansivo de Lemaître.

En tal teoría la incorporación del espacio en la transformación se efectúa aún más radicalmente en la teoría general clásica de la relatividad; al mismo tiempo, la teoría de un universo expansivo es una teoría relacional del tiempo, porque el propio tiempo se fusiona con su contenido físico irreversible. Esta teoría también elimina el concepto tradicional polémico del pasado cósmico realmente infinito.

La cosmogonía de Lemaître no es la única posible; pero, sea cual fuere la forma definida de la cosmogonía futura, apenas se puede dudar de que no tendrá lugar ningún retorno a los modelos reversibles de la cosmogonía clásica por la simple razón de que el concepto de reversibilidad, además de ser intrínsecamente absurdo, ha sido privado de su base cinético-corpuscular por la teoría de la relatividad y la mecánica ondulatoria.

El cambio revolucionario de la física, que tuvo lugar en la primera mitad del siglo XX, puede caracterizarse concisamente como fin del modelo laplaciano de la realidad, no sólo porque se duda ahora del determinismo laplaciano clásico, sino también porque *todos* los componentes del esquema conceptual de Laplace han sido profundamente modificados. Esto es lo que llamábamos *desintegración del esquema cinético-corpuscular;* y como este esquema era *implícitamente* intemporal, el fin de la ilusión laplaciana significa una reintroducción de la transformación en el mundo físico.

Ya han sido señaladas algunas implicaciones filosóficas importantes de la reafirmación de la realidad de la transformación y acentuado su concordancia con los hechos recientemente descubiertos de la física. El hecho de que el esquema cinético clásico haya resultado inadecuado para comprender la física contemporánea significa el fin de todas las esperanzas de interpretar los elementos constituyentes —o más bien sucesos— de la realidad física en términos sensoriales (táctilo-visuales). La imaginación humana es claramente incompetente para proporcionar el material del que pueda ser construido un modelo satisfactorio de la materia.

En este respecto, la revolución contemporánea de la física es mucho más trascendente que la denominada revolución copernicana del siglo XVI; el universo heliocéntrico era en principio tan imaginable como el universo de Ptolomeo. Pero hoy es evidente que el substrato objetivo de los fenómenos físicos no puede ser

descrito en términos imaginativos; todas las cualidades sensoriales están básicamente al mismo nivel fenoménico, lo cual es resultado de la interacción de nuestro organismo consciente y los procesos físicos transfenoménicos. El propio nivel transfenoménico parece estar así eternamente inaccesible tanto a nuestra percepción como a nuestra imaginación; no puede ser ni percibido ni imaginado. Las construcciones matemáticas abstractas parecen ser hoy el único camino no para alcanzar, sino para *representar* la estructura del plano transfenoménico.

Así parece quedar excluida para siempre la posibilidad de modelos concretos del nivel transfenoménico. Sin embargo, ésta sería una conclusión apresurada, aun cuando en la actualidad sea universalmente aceptada. La plausibilidad de esta conclusión radica en la ambigüedad de la palabra «concreto». Mientras que por esta palabra entendamos «visual» o «pictórico», la conclusión se halla enteramente justificada. Pero «concreto» y «pictórico» no son vocablos sinónimos. Y no sólo hay cualidades sensoriales diferentes a las visuales, sino que existen también las cualidades no sensoriales del pensamiento sin imagen, de las que se percató la psicología únicamente de pocos años a esta parte.

En la estructura temporal de la percepción de la melodía se pueden descubrir ciertas facetas que parecen irracionales en cualquier modelo mecánico-visual de la realidad física; la primacía de los sucesos, la ausencia de divisibilidad infinita, la compatibilidad de la novedad y la causación mnémica, la compatibilidad de la continuidad y la individualidad, la fusión de la transformación con su contenido concreto. No es preciso decir que tal uso de los modelos auditivos es puramente propedéutico; simplemente nos ayuda a liberar a nuestra mente del dominio exclusivo de la imaginación visual, cuya influencia puede ser detectada incluso en algunos hábitos matemáticos aparentemente abstractos. Ninguna persona epistemológicamente educada soñaría con restaurar las cualidades auditivas o cualesquiera de las cualidades secundarias en el mundo físico. El significado positivo de la experiencia auditiva está en el hecho de que de ella se puede abstraer cierto modelo dinámico sin imagen que probablemente ofrecerá la clave para comprender la naturaleza del tipo de «transformación extensiva» que parece constituir la naturaleza de la realidad física.

INDICE DE AUTORES Y MATERIAS

D

H

I

M

T